

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**



**AUTOMATIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE FERTIRRIGACIÓN DE  
SOLUCIONES LIQUIDAS PARA EL CULTIVO DE HORTALIZAS EN  
UN INVERNADERO DE TIPO MICRO TÚNEL DEL INSTITUTO  
NACIONAL TÉCNICO AGROPECUARIO INTA**

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**Presentado por:**

Br. Ulises Fanor Rivas García

Br. Gustavo Antonio López

Tutor:

Ing. Álvaro

Gaitán

MANAGUA – NICARAGUA

ABRIL 2019

## **Dedicatoria**

Dedicamos este trabajo monográfico a Dios principalmente, Gracias a él hemos alcanzado este logro que nos llena de satisfacción y alegría.

A mis padres, por el apoyo incondicional, porque siempre me motivaron y me ayudaron a crecer y aprender cada vez más.

A cada madre nicaragüense que tenía la esperanza de poder ver a su hijo culminar esta etapa y que hoy con mucho dolor sufren la pérdida de ese ser querido cuyas vidas fueron arrebatadas.

Dedico esta tesis a Dios quien me ha guiado por el camino correcto, me ha dado fuerzas para poder seguir adelante y no desfallecer en los problemas que se me han presentado, enseñándome a confrontar las adversidades sin perder jamás la dignidad.

A mis padres Martha Lorena Muñoz Vega y Gustavo Adolfo López Carrión por brindarme siempre su apoyo incondicional.

Ulises Fanor Rivas García

Gustavo Antonio López Muñoz

## **Resumen**

En el presente documento se muestran los resultados obtenidos de la automatización del proceso de mezcla para la realización de soluciones líquidas de la técnica de fertirrigación donde el objetivo principal fue el diseño de un prototipo y una interfaz de usuario amigable para los productores o personas que necesitan preparar soluciones de Fertirrigación. El sistema general del prototipo se divide en dos etapas, la primera unidad de control primaria (Raspberry pi) y la segunda unidad de control secundario (microcontrolador).

La primera etapa cuenta con una interfaz gráfica que permitió al usuario ingresar las cantidades correspondientes de cada sustancia y el tiempo de preparación requeridos para realizar el proceso de mezcla. La unidad de control primaria enviará los parámetros previamente ingresados por el usuario a través de un módulo USART que servirá para la comunicación.

La segunda etapa se encargó de ejecutar las órdenes procedentes de la etapa anterior, controlará los actuadores y leerá los datos de los sensores. Se utilizaron electroválvulas solenoides para permitir el paso de sustancias hacia un contenedor para la preparación de la solución y se usaron sensores de flujo para verificar la cantidad correcta de cada sustancia en cuestión. Esto permite que las mediciones que registran los sensores por cada aplicación realizada se almacenen en una base de datos creada en MySQL DB donde se detalla los registros y el historial de los distintos insumos aplicados al cultivo.

En este informe se presentan los aspectos más relevantes para el diseño e implementación del prototipo, los mismos son presentados de forma tal que puedan ser fácilmente utilizados por aquellos interesados en este campo ya sea para proyectos relacionados o mejoras del mismo.

## **Abstract**

This document shows the results obtained from the automation of the mixing process for the realization of liquid solutions of the fertigation technique where the main objective was the design of a prototype and a friendly user interface for producers or people who need to prepare fertigation solutions. The general system of the prototype is divided into two stages, the first primary control unit (Raspberry Pi) and the second Secondary control unit (microcontroller).

The first stage has a graphical interface that will allow the user to enter the corresponding quantities of each substance and the preparation time required to perform the mixing process. The primary control unit will send the parameters previously entered by the user through a use module that will serve to communicate.

The second stage will be responsible for executing the commands from the previous stage, controlling the actuators and reading the sensor data. Solenoid valves were used to allow the passage of substances into a container for the preparation of the solution and flow sensors were used to verify the correct amount of each substance in question. This allows the measurements that the sensors record for each application made to be stored in a database created in MySQL DB where the records and the history of the different inputs applied to the crop are detailed.

This report presents the most relevant aspects for the design and implementation of the prototype; they are presented in such a way that they can be easily used by those interested in this field either for related projects or for improvements of the same.

# Índice de Contenidos

<b>Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivo General.....</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Fertirriego .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Ventajas de la fertirrigación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.1 Análisis de suelo .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.2 Análisis Foliar .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.3 Fertilizantes .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.3.1 Tipos de Fertilizantes .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Formas de Aplicación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 Tipos de cultivo .....</b>	<b>6</b>
<b>1.2.1 Generalidades de los sistemas de riego .....</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Riego por goteo .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.1 Riego por aspersión .....</b>	<b>10</b>
<b>1.3.2 Riego por micro-aspersión.....</b>	<b>11</b>
<b>1.3.3 Invernaderos .....</b>	<b>12</b>
<b>1.3.3.1 Invernadero micro túnel o semicírculo .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3.4 Invernaderos de capilla .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 Automatización .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2 Sensores.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.3 Pantalla táctil capacitiva .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Elementos finales de control.....</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1 Electroválvulas Solenoides .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5.2 Actuadores.....</b>	<b>19</b>
<b>1.6 Sistema de Control.....</b>	<b>21</b>
<b>1.6.1 Sistema de Control Primario .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6.2 Sistema Operativo.....</b>	<b>23</b>
<b>1.6.3 Software de Programación .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7 Unidad de Control Secundaria.....</b>	<b>25</b>

1.7.1 Módulo USART.....	26
1.8 Comunicación Serial .....	28
1.8.1 Comunicación serie Protocolo RS-232 .....	29
1.9 Interfaz gráfica.....	30
1.9.1 Tkinter .....	31
1.10 Base de Datos .....	31
1.10.1 MySQL.....	32
Capitulo II: ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS .....	34
1. Etapa de análisis.....	35
2. Diseño del Sistema.....	37
2.1 Esquema general del sistema de control.....	37
2.2 Diseño del Sistema de medición.....	38
2.2.1 Selección de los componentes principales del sistema. ....	38
2.2.2 Selección de sensores.....	38
2.2.2 Pantalla táctil multi Touch .....	40
2.3 Selección para los elementos de Control .....	42
2.3.1 Electro válvulas solenoide.....	42
2.3.2 Módulo Relays de 4 canales.....	43
2.3.3 Motor DC síncrono.....	44
3.1 Selección del sistema de comunicación.....	47
3.2 Unidad de control primaria .....	48
3.2.1 Raspberry Pi .....	48
3.3.2 Algoritmo del programa del microcontrolador .....	52
3.3.4 Etapa de presentación de los resultados .....	58
3.5 Implementación de circuitos impresos .....	58
3.5.1 Resultados obtenidos .....	61
3.5.2 Partes del prototipo de fertirrigación.....	62
3.5.3 Pruebas de funcionamiento del sistema.....	64
3.5.4 Registros de las pruebas realizadas.....	66
3.6 Costo del prototipo .....	67
Conclusiones y Recomendaciones .....	68
Conclusiones .....	68
Recomendaciones .....	69

## Lista de Figuras

<i>Figura 1. Sistema de riego por goteo. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)</i>	8
<i>Figura 2. Sistema de riego por aspersión. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)</i>	10
<i>Figura 3. Sistema de riego por micro aspersión. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)</i>	11
<i>Figura 4. Invernadero de tipo micro túnel. Tomado de clasificación de estructuras para la agricultura.</i>	13
<i>Figura 5. Invernadero de tipo capilla. Tomado de cultivos bajo cubierta. (2012)</i>	14
<i>Figura 6. Principio básico de operación del sensor de flujo.</i>	16
<i>Figura 7. Representación de los pulsos en alto y bajo por circulación de caudal.</i>	16
<i>Figura 8. Pantalla táctil capacitiva multi Touch con entrada HDMI.</i>	17
<i>Ilustración 9. Electro válvula solenoide. Tomado de climas monterryvalve.</i>	18
<i>Figura 10. Diagrama electromecánico de un motor eléctrico.</i>	21
<i>Figura 11. Raspberry Pi modelo 3B.</i>	23
<i>Figura 12. Conexión para comunicación serial entre dispositivos.</i>	28
<i>Ilustración 13. Ambiente del sistema de administración de base de datos simplificado. Tomado de Elmasri y B. Navathe (2011).</i>	32
<i>Figura 14. Diagrama de bloque del proyecto implementado. Fuente: Autor.</i>	37
<i>Ilustración 15. Vista general del sensor de flujo YF-S201. Fuente: Autor.</i>	40
<i>Figura. 16. Pantalla táctil capacitiva multi Touch. Fuente: Autor.</i>	41
<i>Figura 17. Vista general de la Electrovalvula solenoide. Fuente: Autor.</i>	43
<i>Figura 18. Vista general de un Módulo Relays de 4 canales. Fuente: Autor.</i>	44
<i>Figura 19. Vista general de un motor AC YJ48-12. Fuente: Autor.</i>	45
<i>Figura 20. Fuente de Alimentación Conmutada de 12V/10A. Fuente: Autor.</i>	46
<i>Figura 21. Vista general del módulo USART USB. Fuente: Autor.</i>	47
<i>Figura 22. Graficet del programa en el microcontrolador. Fuente: Autor.</i>	52
<i>Figura 23. Modelo de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.</i>	53
<i>Figura 24. Ventana de Inicio de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.</i>	54
<i>Figura 25. Tabla que Contiene los Datos de los Usuarios que pueden Acceder a las Funciones de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.</i>	54
<i>Figura 26. Funciones de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.</i>	55
<i>Figura 27. Ventana para el Ingreso de Parámetros. Fuente: Autor.</i>	56
<i>Figura 28. Tabla de Historial de Consumo. Fuente: Autor.</i>	57
<i>Figura 29. Graficas de Consumo Anual. Fuente: Autor.</i>	58
<i>Figura 30. Vista Superior del Circuito Impreso del Sistema. Fuente: Autor.</i>	59
<i>Figura 31. Vista Inferior del Plano de la Tarjeta. Fuente: Autor.</i>	60
<i>Figura 32. Circuito Implementado. Fuente: Autor.</i>	60
<i>Figura 33. Prototipo final para la preparación de fertilizantes líquidos. Fuente: Autor.</i>	61
<i>Figura 34. Vista frontal lateral derecha del prototipo. Fuente: Autor.</i>	62
<i>Figura 35. Recipientes de agua y fertilizante. Fuente: Autor.</i>	62
<i>Ilustración 36. Agitador para la preparación de mezclas.</i>	63
<i>Figura 37. Contenedor para la preparación de las mezclas. Fuede: Autor.</i>	63
<i>Figura 38. Ingreso de la cantidad de Fertilizante y Agua. Fuente: Autor.</i>	64

<i>Figura 39. Mezcla realizada a través de las pruebas de funcionamiento de sistema. Fuente: Autor.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 40. Registros del historial de consumo. Fuente: Autor. ....</i>	<i>66</i>

## **Lista de Tablas**

<i>Tabla 1. Métodos de Riego, eficiencias posibles de alcanzar con las distintas técnicas que actualmente existen. Fuente: Autor.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2. Registros del Control de las Variables para las Transmisión de Datos. Fuente: Autor.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Recursos del Miniordenador a Utilizar. Fuente: Autor. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 4. Recursos Demandados del Microcontrolador a utilizar. Fuente: Autor. ....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 5. Costos de elaboración del prototipo. Fuente: Autor. ....</i>	<i>67</i>



## Introducción

La automatización de los procesos industriales tiene un impacto directo en la productividad de los distintos procesos que hoy en día se realizan de forma manual en el sector agrícola. Sin embargo, a pesar de los beneficios que proporciona la automatización, muchos productores del país no disponen de tecnologías productivas que mejoren la producción del cultivo de hortalizas, las formas tradicionales de mezclado para la preparación de abonos disueltos son comunes de modo que no se logra un aumento en los rendimientos de producción.

Otro factor importante es el clima en los últimos años el cambio climático afecta directamente a la agricultura de nuestro país, esto debido a las irregularidades en el patrón de comportamiento del mismo, los cambios cada año son notorios causando grandes pérdidas, por lo cual el Instituto nicaragüense de Tecnología Agropecuaria desarrollan estrategias y prácticas de producción para obtener mejores rendimientos y a su vez lograr un mejor manejo y conservación de los suelos y agua, por medio de la aplicación de agro biológicos como alternativa para mejorar las cantidades de cada cultivo así como herramientas tecnológicas de información agroclimática para alerta temprana de los periodos lluviosos a su vez los tiempos indicados para iniciar la cosecha. (INTA 2018)

Como solución a la problemática explicada anteriormente, se diseñó un sistema para la automatización de las soluciones de fertirrigación donde el objetivo principal es disponer de una interfaz de usuario en la cual el operador, podrá ingresar los parámetros de los distintos fertilizantes que se almacenan en depósitos con los que cuenta el sistema, esto va permitir que puedan ser mezclados correctamente durante los lapsos de tiempo estimado en dependencia de los datos previamente establecido, los tiempos de mezclados con el agitador garantiza mayor solubilidad durante el proceso, a su vez el sistema incorpora una base de datos que muestre el historial de cada fertilizante aplicado en las distintas etapas esto se traduce a que los operarios manejen mejor las dosificaciones.

En este documento se presenta todo el proceso desarrollo para la elaboración del prototipo de fertirrigación, el sistema dispone de sensores de flujo que registran internamente la circulación de agua, los elementos de control nos van a garantizar el control exacto de cada sustancia también cuenta con una interfaz gráfica desarrollada utilizando software libre donde el operador va poder ingresar la cantidad de cada insumo aplicado, va poder visualizar las gráficas de consumo de las soluciones nutritivas que emplearon en las distintas etapas de desarrollo del cultivo. La comunicación alámbrica entre los dos sistemas mediante el módulo USART. El sistema se divide en dos etapas una primaria para este se utilizó una Raspberry Pi 3B, y la unidad secundaria que está basada en un microcontrolador.

De igual manera, en este informe se presentan las diferentes tecnologías que se utilizaron para el desarrollo del sistema y se proporciona información básica sobre los softwares utilizados tales como Tkinter, PICC Compiler, Suite Proteus, Python.

# Objetivos

## Objetivo General

Desarrollar un prototipo para la automatización en la preparación de soluciones líquidas de fertirrigación para el cultivo de hortalizas del Instituto Nacional Técnico Agropecuario INTA.

## Objetivos Específicos

- Establecer las especificaciones técnicas de un sistema de fertirriego automatizado para el cultivo de hortalizas.
- Diseñar el sistema de control para las dosificaciones (Fertilizante y Agua) para la mezcla de soluciones y así proporcionar la cantidad exacta de cada componente a mezclar, en sus respectivos depósitos para sus distintas pruebas a realizar.
- Diseñar un sistema de mezcla de solución tomando como referencia la solubilidad y compatibilidad de los fertilizantes para la realización de la disolución.
- Desarrollar una base de datos con su interfaz gráfica, usando software libre para llevar el registro total de los insumos aplicado en los cultivos de hortalizas.
- Evaluar que el sistema integrado cumpla con los requerimientos establecidos del sistema de fertirrigación mediante rúbricas de desempeño.

## **Justificación**

En Nicaragua el sector agropecuario es uno de los pilares fundamentales de la economía, la carencia de sistemas más eficaces y las formas convencionales de siembra y preparación de abonos disueltos son los mayores inconvenientes que afectan gravemente la producción del cultivo de hortalizas, es por eso que existe la necesidad de implementar e incorporar tecnologías y técnicas que beneficien y contribuyan en gran medida, y que a su vez aumenten los niveles de productividad agropecuaria. La producción hortícola está adoptando nuevas formas esto con el objetivo de obtener mayores rendimientos para mejorar la calidad de los distintos rubros.

La siembra tradicional o de campo abierto en este sector son las más comunes, y por ende son factores que limitan a los pequeños productores es por eso que existe la necesidad de proveer herramientas modernas a un costo menor y que permitan avances significativos. El Instituto Nacional Técnico Agropecuario trabajan en conjunto con la Misión Técnica de Taiwán con el objetivo de fortalecer esas debilidades que enfrenta este gremio.

Otro aspecto relevante a destacar es que los costos de adquisición por la compra de este tipo de productos son elevados, la mayoría de las empresas locales dedicadas a la venta de equipos agroindustriales no disponen de herramientas que realicen este tipo de tareas, y las políticas económicas del país no contribuyen a que el sector adquiera este tipo de tecnologías, la dificultad de acceso a créditos por parte de las instituciones financieras son una de las problemáticas que afecta directamente. El desarrollo de un prototipo escalable que optimice los tiempos de preparación de los fertilizantes líquidos a través de la técnica de fertirrigación resulta de vital importancia, esto permitirá obtener mejores resultados, realizar este tipo de procesos de manera eficiente se traduce a que el productor maneje los márgenes de costo beneficio las cantidades de cada insumo aplicado, y otro punto a resaltar es la reducción del consumo de agua cuando empleamos

invernaderos y riegos de tipo goteo, un mayor control sobre el cultivo y se podrá aumentar o disminuir la velocidad de crecimiento según interese una incidencia directa sobre la capacidad productiva, y un mínimo impacto al medio ambiente, se evita la necesidad de incrementar la superficie agrícola.

Con la incorporación de herramientas más eficientes en la preparación de los fertilizantes se pueden alcanzar los siguientes retos:

- Optimización de los recursos (fertilizantes y agua) aplicados durante los lapsos de producción del cultivo.
- Gran flexibilidad en la aplicación, lo que permite la adecuación del abonado a las necesidades del cultivo en cada momento.
- Control de pérdida de nutrientes, con un buen manejo de las dosificaciones a la hora de realizar la preparación.
- Ahorro de mano de obra en la distribución de los fertilizantes.

La realización de este proyecto pretende resolver lo antes mencionado, con las debidas modificaciones y mejoras puede ser empleado en campo abierto y en otro tipo de sistemas de riego e incluso para diversos cultivos que se cosechan en todo el territorio de nicaragüense. Se considera de mucha importancia llevar a cabo este trabajo monográfico por los beneficios que aporta. Los resultados que se obtuvieron al generar este sistema estarán disponible a toda la comunidad estudiantil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), y será de mayor utilidad para quienes deseen ampliar esta línea de investigación pues podrán tomar este trabajo como referencia para el desarrollo de sus propios proyectos.

# **Capítulo I: MARCO TEÓRICO**

## **1. Fertirriego**

Esta técnica consiste en la aplicación de una solución nutritiva a partir de fertilizantes solubles, aplicada a través de los sistemas de riegos de tipo goteo, a esta técnica se le conoce como fertirrigación, esta se aplica de manera localizada en la parte más activa del sistema radicular de la planta, lo cual favorece la absorción de nutrientes en una porción más pequeña del volumen de suelo. (Como se cita en Carlos Volio, & Martí Bermúdez 2014).

La técnica de fertirrigación, es un sistema de riego que se hace de manera localizada sobre la planta, favorece la absorción de nutrientes en una porción más pequeña del volumen de suelo.

Todos los cultivos requieren de diversos nutrientes, un adecuado suministro de ellos mediante la fertilización es necesario para obtener los máximos rendimientos; algunos nutrientes son requeridos en cantidades muy bajas, de ahí que sean conocidos como elementos menores o micro nutrientes, tales como el Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeseo (Mn), Cobre (Cu) y Boro (B). Existen otros nutrientes que son requeridos en mayores cantidades y han sido clasificados como elementos mayores o macro nutrientes como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).

Actualmente los productores prefieren hacer aplicaciones ligeras de fertilizantes cada ocho días o cada quince días o mensual, esto va en dependencia de la necesidad del cultivo, por lo que las aplicaciones frecuentes incrementan los costos de producción del cultivo. (Como se cita en Carlos Volio, & Martí Bermúdez 2014).

## **1.1 Ventajas de la fertirrigación**

- Mínima pérdida de agua a través de estos sistemas se realiza un uso eficiente del agua, ya que ésta es aportada en las cantidades necesarias y en forma controlada.
- El problema de malezas se considera mínimo o inexistente en estos sistemas, esto sucede porque los medios son estériles o son esterilizados y en el agua no se generan algas, puesto que está en movimiento del 60 al 100% del día.
- Reducción en aplicación de Agroquímicos en general la aplicación de agroquímicos se reduce en estos sistemas. (Moreno, 2005).

### **1.1.1 Análisis de suelo**

El análisis de suelo es la principal herramienta en el manejo de la fertilidad de los suelos, ya sea para determinar deficiencias y necesidades de fertilización, así como también para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en sistemas fertilizados. Debemos tener en cuenta que la fertilidad del suelo no es constante en el espacio y en el tiempo y que además existen otros factores como la profundidad y el momento de muestreo que tienen un gran efecto sobre el resultado final.

Es por eso que el muestreo es la etapa crítica del análisis de suelo. Un análisis de suelos completo, incluyendo todos los nutrientes esenciales para los cultivos, es el punto de partida para la formulación del plan de fertilización.

### 1.1.2 Análisis Foliar

El análisis foliar constituye una metodología sumamente eficiente para evaluar la nutrición del cultivo ya que integra todos los factores de suelo, ambiente y manejo, especialmente para los nutrientes menores. Debe ser considerada tanto para la corrección inmediata de deficiencias como también para evaluar los resultados del manejo de la nutrición.

### 1.1.3 Fertilizantes

Según Franquesa (2015). Explica que los fertilizantes es una sustancia destinada a abastecer y suministrar los elementos químicos al suelo para que la planta los absorba. Se trata, por tanto, de una reposición o aporte artificial de nutrientes. Un fertilizante mineral es un producto de origen inorgánico, que contiene, por lo menos, un elemento químico que la planta necesita para su ciclo de vida. La característica más importante de cualquier fertilizante es que debe tener una solubilidad máxima en agua, para que, de este modo pueda disolverse en el agua de riego, ya que los nutrientes entran en forma pasiva y activa en la planta, a través del flujo del agua.

Estos elementos químicos o nutrientes pueden clasificarse en: Macro Elementos y Micro Elementos.

- Los Macro elementos son aquéllos que se expresan como: % en la planta o g/100g.
- Los principales son: **N – P – K – Ca – Mg – S**
- Micro elementos se expresan como: Ppm (parte por millón) = mg/kg = mg /1000g
- Los principales son: **Fe – Zn – Cu – Mn – Mo- B – Cl**



Estos se aplican a las plantas y cultivos con el fin de portar nutrientes fundamentales para su desarrollo y crecimiento, concretamente los fertilizantes agrícolas aportan elementos principales que son necesarios e indispensables en el desarrollo de las plantas. Además, existen otros elementos secundarios igualmente necesarios pero que no suelen escasear en la tierra y por lo tanto no siempre será necesario añadirlos mediante fertilizantes.

#### **1.1.3.1 Tipos de Fertilizantes**

**Fertilizantes líquidos:** Aplicados directamente o disueltos en agua, consiguen una rápida efectividad, son absorbidos rápidamente. Pueden aplicarse al cultivo antes o después de la siembra y tienen su origen en materiales químicos u orgánicos, en su presentación, pueden encontrarse en el mercado en forma de suspensiones o mezclas y soluciones. Las suspensiones o mezclas están formadas por fertilizante sólido que se ha ido dispersando en un medio líquido. (como se cita en Franquesa, 2015).

**Fertilizantes granulados:** ofrecen una dosificación más precisa, liberando los nutrientes que contemplan de forma gradual y ayudando a que las operaciones realizadas con ellos sean cómodas y la aplicación, manual o con un equipo apropiado, ofrezca una distribución uniforme en el terreno.

**Fertilizante en polvo:** se utilizan en el cultivo más tradicional y también en la hidroponía. Se aplican de una forma directa o bien diluidos en agua. El grado de finura del polvo suele variar en función del tipo de fertilizante utilizado.

**Fertilizante Macro-granulados:** Están formados por gránulos de un considerable tamaño, entre 2 y 3 cm., y van liberando los nutrientes de forma progresiva.

## 1.2 Formas de Aplicación

- Dependiendo del tipo de plantación y abono será más recomendable un método de aplicación u otro. Se pueden enumerar los siguientes métodos principales de aplicación de fertilizantes a la tierra. (Como se cita en Franquesa, 2015).
- **Fertirrigación:** Aplicación de fertilizantes disueltos en agua gracias a un sistema especial de riego este tipo de aplicación recibe el nombre de fertirrigación y se trata de la forma más productiva de aplicar los fertilizantes a las plantas ya que se aprovecha el agua del riego y su flujo. Necesita de un sistema de riego especial que gestione la aplicación de los fertilizantes líquidos en la medida adecuada junto al agua de riego.
- **Aplicación al suelo o radicular:** Se aplica directamente al suelo o mezclándola con el sustrato, la aplicación radicular consiste en aplicar el producto fertilizante a la planta ya sea de forma directa en el caso de fertilizantes líquidos o disolviendo los fertilizantes sólidos manualmente en agua. La ventaja de esta aplicación reside en la rapidez con la que absorben los nutrientes las raíces de la planta.
- **Aplicación foliar:** Es un sistema de aporte de nutrientes utilizando las hojas como vehículo transmisor. El nutriente es aplicado como si fuera lluvia y los nutrientes son absorbidos de forma inmediata. Con esta técnica, los resultados pueden visualizarse en un corto espacio de tiempo. (Como se cita en Franquesa, 2015).

### **1.2.1 Tipos de cultivo**

Los cultivos en suelo en combinación con los invernaderos son posiblemente hoy en día los métodos más intensivos de producción de hortalizas, este último surge como una alternativa a la agricultura tradicional, cuyo objetivo es reducir o disminuir los factores limitantes de crecimiento vegetal asociados al ambiente de producción, sustituyéndolo por otros soportes de cultivo y aplicando técnicas de fertilización alternativas. El cultivo en suelo es el más común para los distintos tipos de hortalizas y granos básicos, este consiste en sembrar la semilla en la tierra y realizar las labores necesarias para obtener fruto de las mismas. Por último tenemos el cultivo hidropónico este sistema de producción consiste en el que las raíces se irrigan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales disueltos en agua, y en lugar de suelo se utiliza como sustrato un material inerte y estéril, o simplemente la misma solución nutritiva. (Gurovich R., Luis A. 2009).

### **1.2.1 Generalidades de los sistemas de riego**

El agua juega un papel importante para las plantas por sus efectos sobre fenómenos físicos diversos, como el transporte de nutrientes, la transpiración y la reducción de la temperatura de las hojas, el transporte de metabolitos, la fotosíntesis y la respiración. En efecto es un hecho conocido que cuando las estomas se cierran por un déficit hídrico, los intercambios gaseosos entre la hoja y el aire disminuyen. Se observa asimismo una estrecha relación entre la absorción de agua por la planta y el desarrollo de su biomasa. Por lo tanto, como conclusión práctica, se puede afirmar que la forma más sencilla de mejorar la productividad es proporcionar un aporte de agua en proporciones correctas. (Gurovich R., Luis A. 2009)

Entre los numerosos sistemas practicados, los más corrientes son el riego por surcos, la aspersión y el riego localizado. La elección de un sistema no se basa únicamente en criterios técnicos o sociales, sino también en criterios económicos y en las condiciones exteriores a la explotación, como el suministro de electricidad,

la disponibilidad de materiales, etc. El agua aplicada por los distintos métodos de riego se infiltra hacia las raíces de las plantas irrigando directamente la zona de influencia de las raíces a través de los distintos tipos de riego. (Sistema de Regadíos, 2009).

En cuanto a los métodos de riego se tiene los siguientes como los más representativos: Tendido (inundación), surcos, bordes, aspersión, y goteo. Que de acuerdo a Gurovich R., Luis A, la siguiente tabla presenta las eficiencias de cada uno del tipo de riego que se aplica al cultivo.

*Tabla 1. Métodos de Riego, eficiencias posibles de alcanzar con las distintas técnicas que actualmente existen. Fuente: Autor.*

<b>Método de Riego</b>	<b>Eficiencia Aplicación</b>	<b>Eficiencia Almacenamiento</b>	<b>Eficiencia Distribución</b>	<b>Eficiencia Agronómica</b>
Tendido	0,40	0,85	0,60	0,20
Surcos	0,55	0,85	0,75	0,35
Bordes	0,60	0,90	0,70	0,38
Aspersión	0,90	1,00	0,85	0,76
Goteo	0,95	1,00	0,90	0,86

Fuente: Gurovich R., Luis A. Riego Superficial Tecnificado para cultivos de Hortalizas," Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José Costa Rica, 2014.

### 1.3 Riego por goteo

Este sistema proporciona agua filtrada y fertilizante directamente sobre el suelo al lado de la planta. Este sistema elimina la aspersión y el agua que fluye sobre la superficie del suelo; permite que el agua, liberada a baja presión en el punto de emisión, moje el perfil del suelo en una forma predeterminada, el agua es transportada a través de una extensa red de cañerías hasta cada planta; la estructura que emite el agua fuera de la red hidráulica se denomina emisor o gotero. Los emisores disipan la presión que existe en la red de tuberías por medio de orificios de pequeño diámetro o por medio de un largo camino o recorrido; de esta forma disminuye la presión del agua y permite descargar desde el sistema hacia el suelo solamente unos pocos de litro por cada hora gotero. (Gurovich R., Luis A. 2009).

Los métodos básicos para proporcionar un sistema de control son: el control del tiempo, el control del volumen y el sistema de retroalimentación. Un sistema de control de tiempo permite que el agua circule o no por el sistema en lapsos de tiempos determinados; un sistema de control por volumen permite que el agua circule o no de acuerdo con el volumen de agua que ha sido entregado por el sistema y un sistema de retroalimentación permite que el agua circule por el sistema de sensores de humedad del suelo colocado en la zona, regada, como tensiómetros, indicadores de humedad o bloques de resistencia eléctrica. (Gurovich R., Luis A. 2009).



*Figura 1. Sistema de riego por goteo. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)*

**Beneficios del riego por goteo:** este tipo de riego ofrece varios beneficios potenciales en el uso eficiente del agua, en las respuestas de las plantas, en el manejo del cultivo y en los rendimientos agronómicos del cultivo.

Dentro de ello cabe destacar lo siguiente: Uso eficiente del agua y riego: en este tipo de técnica, las pérdidas por evaporación se llevan a un mínimo; no existen movimiento de gotas a través del aire, no hay humedecimiento del follaje de las plantas y no hay evaporación desde la superficie del suelo, además el riego por goteo limita el crecimiento de las malezas y su consumo no beneficioso del agua. Este sistema bien diseñado y bien manejado no produce pérdidas por escurrimiento superficial. Por otra parte, se puede regar toda un área hasta los bordes sin que quede zonas mojadas fuera de la zona. A través de este método se obtienen las siguientes ventajas:

**Respuesta a las plantas:** la respuesta en desarrollo y rendimiento de los cultivos regado por goteo generalmente es superior a los obtenidos con otros tipos de sistemas.

**Enfermedades y plagas:** Al minimizar el humedecimiento de la superficie del suelo y del follaje de la planta, el riego por goteo reduce la posibilidad de ataques de plagas y desarrollo de enfermedades y problemas fungosos que afectan severamente los distintos ciclos vegetativos del cultivo.

**Malezas:** Gracias al poco humedecimiento del suelo fuera del área necesaria, el cultivo se logra mantener libre de malezas, porque estas no logran crecer en la superficie del suelo esto debido a que mantiene seco.

**Salinidad:** Cuando se debe emplear aguas salinas por cada riego, es muy conveniente utilizar el sistema de riego por goteo de alta frecuencia para mantener un alto contenido de agua en el suelo; de esta manera, la concentración de sales en el agua del suelo puede ser mantenida más baja que aquella que pueda producir las plantas.

### 1.3.1 Riego por aspersión

El riego por aspersión permite aplicar el agua en forma de lluvia sobre la planta. El agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que caen sobre el suelo. Es un método de riego que sirve en casos en que el viento no es importante ya que puede causar muchas pérdidas, además debe considerarse que el agua, al cubrir gran parte del suelo, se producen muchas pérdidas por evaporación. (Demin, 2014).

Con este sistema se puede aprovechar muy bien el agua, pero sin duda su mayor limitante es que se debe contar con una buena presión de agua. En el caso de utilizar difusores o aspersores es muy importante tener en cuenta su disposición controlando que la separación entre ellos, contemple la superposición del abanico de agua en un 30%, lo que permitirá que la distribución del líquido sea uniforme en toda la superficie regada. (Demin, 2014).

Es importante saber que cuanto más cantidad de aspersores más presión se necesita para mantener un caudal fijo. Otro factor importante a considerar es el riesgo de aumentar la incidencia de enfermedades y plagas en el cultivo, ya que el exceso de humedad en suelo y en la parte aérea de la planta brinda un medio propicio para este problema. El riego hay que realizarlo preferentemente por las tarde.



*Figura 2. Sistema de riego por aspersión. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)*

### 1.3.2 Riego por micro-aspersión

Este sistema de riego presurizado, es una conocida técnica que facilita el riego para cultivos en forma de neblina (nebulización), siendo unos de los métodos más empleados actualmente en espacios cerrados, como invernaderos o viveros, para crear ambientes húmedos y bajar la temperatura interior, estos suelen ir colgados en los techos de las instalaciones y trabajan a altas presiones. También es utilizado en campos abiertos o áreas extensas, este sistema suministra agua como si fuese lluvia en forma de círculos, nebulización o en chorro evaporizado demandas menores caudales de presión y trabajo y por ende menores costo de energía, a esto se suma que la eficiencia que brinda en los distintos tipos de cultivo de hortalizas. (Demin, 2014).

Su uso es adecuado en suelos muy ligeros (arenosos) donde el riego por goteo no satisface las necesidades del cultivo en cuanto a área humedecida. Los micro aspersores son menos propensos a la obstrucción comparada con los goteros, permite un lavado más eficaz del suelo para prevenir la acumulación de sales, se puede aplicar caudales más importantes a baja presión disminuyendo costo del sistema.



*Figura 3. Sistema de riego por micro aspersión. Tomado de EEA INTA Catamarca. (2014)*



Este método de riego consiste en la aplicación de agua al suelo en gotas muy pequeñas. Requiere una presión de 1,6 kg/cm, es decir mucho más baja que aspersión. El diámetro de mojado que genera el micro aspersor puede ser de alrededor de 3-4 metros. Es recomendable para cultivos como frutales, riego en viveros y algunas hortalizas. Los más comunes son los micro aspersores propiamente dichos en los que se clava un soporte en el suelo y se abastece de agua de una manguera que suele estar superficial.

### **1.3.3 Invernaderos**

Los invernaderos son construcciones agrícolas formadas normalmente por una estructura metálica con una cubierta que impide el ingreso directo de los rayos solares y no permite el paso de la lluvia hacia el interior. El objetivo de estas instalaciones es reproducir o simular las condiciones climáticas más adecuadas para el desarrollo óptimo de las plantas cultivadas en su interior. (MUNDO HVAC&R, 2014).

En los comienzos de la implementación de esta técnica agrícola el concepto invernadero era entendido como un sitio acondicionado para abrigar plantas durante el invierno y de esa forma protegerlas de las bajas temperaturas que se presentan en tiempos fríos. Existen diferentes tipos de invernaderos que se clasifican de acuerdo a su estructura y material de construcción. Cada uno busca obtener ciertos beneficios específicos y depende de eso el entorno de su aplicación. (MUNDO HVAC&R, 2014).

### 1.3.3.1 Invernadero micro túnel o semicírculo

Este tipo de invernadero se caracteriza principalmente por la forma circular de su cubierta y por poseer una estructura totalmente metálica, su implementación se ha extendido por la gran capacidad que posee para el control de las variables climáticas, su resistencia al viento, y su fácil y rápida instalación al ser estructuras prefabricadas (Barrera & Meraz, 2014).

Es difícil establecer una línea divisoria entre lo que es un invernadero y un microtúnel, por no existir un parámetro definido. No obstante, se ha optado como medida de clasificación el volumen de aire encerrado por cada metro cuadrado de suelo. En general, de acuerdo a diferentes opiniones al respecto, podemos definir este invernadero como aquella estructura que supera los 2.75-3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, Se trata de invernaderos que tienen una altura y anchura variables.



*Figura 4. Invernadero de tipo micro túnel. Tomado de clasificación de estructuras para la agricultura.*

### 1.3.4 Invernaderos de capilla

Los invernaderos de capilla simple tienen la techumbre formando uno o dos planos inclinados, según sea a un agua o a dos aguas. Si la inclinación de los planos de la techumbre es mayor a  $25^\circ$  no ofrecen inconvenientes en la evacuación del agua de lluvia. La ventilación es por ventanas frontales y laterales. Cuando se trata de estructuras formadas por varias naves unidas la ausencia de ventanas cenitales dificulta la ventilación. (Francesc Gasso & Solomando Sergio, 2011).

Se trata de una de las estructuras más antiguas, empleadas en el forzado de cultivos. La pendiente del techo (cabio) es variable según la radiación y pluviometría (variando normalmente entre  $15^\circ$  y  $35^\circ$ ). Las dimensiones del ancho varían entre 6 y 12m (incluso mayores), por largo variable. Las alturas de los laterales varían entre 2,0-2,5m y la de cumbrera 3,0-3,5m (también se construyen más bajos que los señalados, pero no son recomendables). (Francesc Gasso & Solomando Sergio, 2011).



*Figura 5. Invernadero de tipo capilla. Tomado de cultivos bajo cubierta. (2012)*

### **1.3 Automatización**

Es la aplicación de diferentes tecnologías para controlar y monitorear un proceso, maquina, aparato o dispositivo que por lo regular cumple funciones o tareas repetitivas, haciendo que opere automáticamente, reduciendo al mínimo la intervención humana. La automatización tiene como objetivo generar la mayor cantidad de producto, en el menor tiempo posible, con el fin de reducir los costos y garantizar una uniformidad en la calidad. (Moreno, 2014).

Su propósito es el desarrollo o adaptación de tecnologías necesarias para incrementar la eficiencia de los productos, empleando diversos sistemas electrónicos e informáticos, así como el uso de las distintas tecnologías, transmisión de datos, sistema de control entre otros. (Moreno, 2014).

#### **1.4.2 Sensores**

Un sensor de flujo o también llamado flujometro o caudalimetro, es un dispositivo que determina la circulación de un fluido, estos se clasifican en caudalímetros mecánicos, ultrasónicos electromagnéticos, y electrónico a turbina. Los sensores están sólidamente contruidos y proporcionan un pulso digital cada vez que una cantidad de líquido pasa a través de la tubería. La hoja de dato del fabricante<sup>1</sup> establece la configuración y sus parámetros técnicos

El flujometro consiste en un pequeño imán atado, que tienen las aspas del sensor internamente, la circulación de fluidos genera un campo magnético de esta forma el sensor genera pulsos positivos a través de la pared de plástico, este nos va permitir saber la cantidad de ML o L, que pasan internamente por el sensor, es posee una frecuencia variable que cambian en función del flujo a como se puede observar en la figura 6. (Alejandro, 2015).

---

<sup>1</sup> La hoja de dato del sensor de flujo YS-S201B se encuentra en la sección de los Anexos.

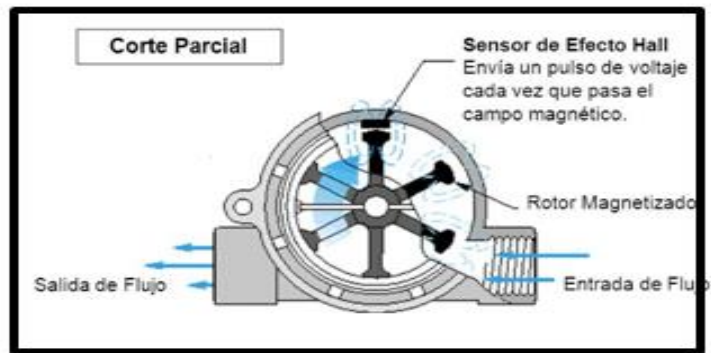


Figura 6. Principio básico de operación del sensor de flujo.

Fuente: Alejandro, A. (2015). *Automatización de proceso Industriales*. Instituto Tecnológico de Comitán.

La salida de los pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos y depende de la presión, densidad e incluso del mismo caudal.

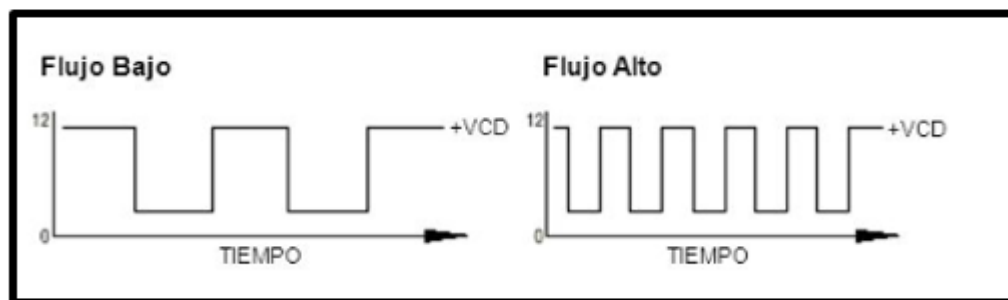


Figura 7. Representación de los pulsos en alto y bajo por circulación de caudal

Fuente: Alejandro, A. (2015). *Automatización de proceso Industriales Agrícolas*. Instituto Tecnológico de Comitán.

### 1.4.3 Pantalla táctil capacitiva

Es una pantalla que mediante un toque directo sobre su superficie permite la comunicación con el sistema operativo del dispositivo que estamos utilizando. A su vez, actúa como periférico de salida, mostrando los resultados introducidos previamente, a diferencia de otros dispositivos como un monitor convencional, la tecnología táctil presenta la gran ventaja de que ella misma es el hardware de entrada y de salida. La diferencia que ofrece este tipo de pantallas es que un ordenador necesita el teclado y el ratón para introducir la información y el monitor para visualizarla, en cambio la tecnología táctil nos facilita la opción de realizar ambas operaciones.



*Figura 8. Pantalla táctil capacitiva multi Touch con entrada HDMI.*

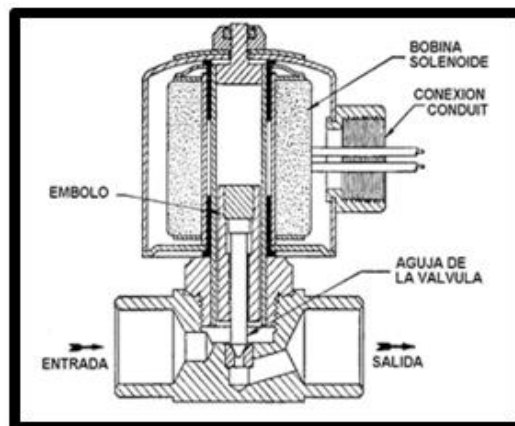
Las pantallas capacitivas están basadas en sensores capacitivos formadas por una capa de aislamiento eléctrico esto hace que estos monitores puedan reaccionar frente a elementos que conduzcan la electricidad, pueden utilizarse diferentes tecnologías para determinar en qué posición de la pantalla se hizo el toque. La posición se envía al controlador, para su procesamiento. Con respecto al manejo de este tipo de pantallas existe una gran variedad de sistemas

operativos con los cuales se puede trabajar entre los cuales están, GNU/Linux, MacOS y Windows. En los tres casos, existen versiones especiales adaptadas para su uso en tabletas y en portátiles táctiles.

## 1.5 Elementos finales de control

### 1.5.1 Electroválvulas Solenoides

Las electroválvulas son dispositivos que responden a los pulsos eléctricos. Una electroválvula es una válvula electromecánica, esta se mueve mediante una bobina solenoide. Generalmente no tiene más que dos posiciones: abierto y cerrado, o todo y nada. Las electroválvulas o válvulas solenoides son dispositivos diseñados para controlar el flujo (ON-OFF) de un fluido. Están diseñadas para poder utilizarse con agua, gas, aire, gas combustible, vapor entre otros. Estas válvulas pueden ser de dos hasta cinco vías. Pueden estar fabricadas en latón, acero inoxidable o pvc. Dependiendo del fluido en el que se vayan a utilizar es el material de la válvula. **(Hernández, 2013)**



*Ilustración 9. Electro válvula solenoide. Tomado de climas monterryvalve.*

**Obtenido de:** <https://www.climasmonterrey.com/que-es-un-valvula-de-solenoide>

En las válvulas de 2 vías, normalmente se utilizan las que funcionan con tres modalidades diferentes, dependiendo del uso que están destinadas a operar; pueden ser de acción directa, acción indirecta y acción mixta o combinada, además cada una de estas categorías puede ser Normalmente Cerrada (N.C.) o Normalmente Abierta (N.A.) , esto dependiendo de la función que va a realizar ya

sea que esté cerrada y cuando reciba la señal la válvula solenoide se abra durante unos segundos, o que esté abierta y cuando reciba la señal el solenoide corte el flujo. (Hernández, 2013).

### **1.5.2 Actuadores**

Los actuadores son dispositivos capaces de recibir órdenes de los sistemas de control y en función de estas realizar cambios en los equipos, como encenderlos o apagarlos, incrementar o disminuir su nivel de intensidad y abrir o cerrar. (Ennis, A., Joel, E., & Oscar, G, 2015).

Una acción de automatización debe contener los tres elementos básicos, de esta forma el sistema será capaz de ofrecer una mejora al proceso productivo, los sistemas de control emiten señales a los actuadores para que estos últimos entren en funcionamiento, se detengan, incrementen, disminuyan o realicen otra acción para la cual hayan sido creados. Los actuadores o relés permiten la apertura o cierre de circuitos, motores, servomotores, electroválvulas, bombas hidráulicas eléctricas y circuitos de regulación de intensidad. Estos últimos están compuestos de TRIACs (del inglés - Triode for Alternating Current) DIACs (Diode for Alternating Current), resistencias, capacitores y opto-acopladores.

### **1.5.3 Motores eléctricos**

Los motores eléctricos son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica. Debido a sus múltiples ventajas, entre las que cabe citar su economía, limpieza, comodidad y seguridad de funcionamiento, el motor eléctrico ha reemplazado en gran parte a otras fuentes de energía, tanto en la industria como en el transporte, las minas, el comercio, o el hogar. (Arenales, 2006).



Existen 2 tipos de motores que se alimentan con corriente alterna:

### **Motores Síncronos**

El nombre de motores síncronos se debe a que la velocidad a la que gira el motor es la de sincronismo, que se impone por la frecuencia de la red, por lo mismo puede ser usado como motor o como generador.

En si es un alternador trifásico que funciona de manera inversa, los imanes del campo se ponen sobre un rotor y estos se excitan a través de corriente continua, las bobinas del armazón se dividen en 3 partes y se alimentan con corriente alterna trifásica. alterna (Arenales, 2006).

### **Motores Asíncronos**

La variación que hay en las 3 ondas de corriente en el armazón causa una reacción magnética que cambia con los polos de los imanes del campo, esto hace que el campo pueda girar con velocidad constante la cual está determinada por la frecuencia de la corriente en la línea de la potencia de corriente alterna.

En este tipo de motor no hay corriente conducida a uno de sus devanados típicamente al rotor. La corriente que pasa por el devanado del rotor es causada por la fuerza electromotriz inducida en él por el campo giratorio, por dicha razón a los motores asíncronos también se les denomina motores de inducción. alterna (Arenales, 2006).

#### **1.5.3 Criterios de Selección de Motores Eléctricos**

Los factores que debemos tener en cuenta para elegir un tipo de motor u otro son los siguientes (Sánchez, 2008).

- Velocidad de funcionamiento.
- Potencia (hay que tener en cuenta que la potencia será igual al par nominal de la aplicación por la velocidad nominal de la aplicación).
- Variaciones en la carga y en la velocidad (hay que tener en cuenta que hay motores que pueden llegar a pararse si la variación de la carga es excesiva).

- Par de arranque (en ocasiones hará falta el uso de un arrancador para poner en marcha un motor).
- Ciclo de trabajo (arranque, funcionamiento, parada). □ Voltaje de operación.
- Factores ambientales.
- Tipo de energía disponible.

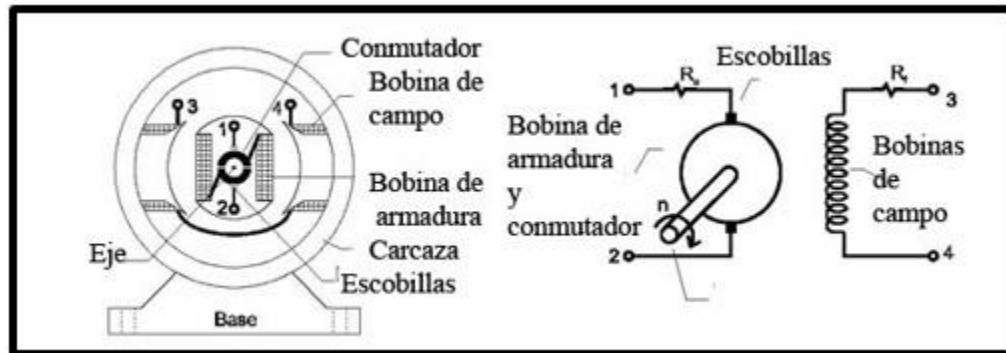


Figura 10. Diagrama electromecánico de un motor eléctrico.

Fuente: Maxwell, A. (2015). Conceptos de electrotecnia para aplicaciones industriales. Available at: [://www.sapiensman.com/electrotecnia/motor\\_electrico.htm](http://www.sapiensman.com/electrotecnia/motor_electrico.htm).

## 1.6 Sistema de Control

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de gestionar, ordenar, o regular los distintos procesos de la producción industrial para la realización del prototipo encargado de automatizar el proceso de mezclado de fertilizantes líquidos se disponen de dos etapas que conforman el sistema general la primera etapa es la unidad de control primaria se encarga de procesar toda la información proporcionada por la etapa de la unidad secundaria.

Algunas funciones que ésta realiza son traducir los datos obtenidos a valores entendibles, enviar las ordenes ingresadas por el usuario al sistema secundaria para la realización de la mezcla estos datos corresponden a la cantidad de cada elemento el tiempo de preparación para obtener una mezcla soluble, para realizar lo antes mencionado se está haciendo uso de un miniordenador la Raspberry Pi

3B. La segunda etapa es la unidad de control secundaria esta debe de ejecutar ordenes de la unidad principal se encarga de gestionar los periféricos de control adquiere la medición que internamente generan los sensores de flujo y envía los datos para que puedan ser visualizados en la interfaz gráfica cada aplicación realizada es registrada y es enviada a una base de datos para ello se utilizó un microcontrolador que va estar encargado de realizar todas las tareas antes mencionadas.

### **1.6.1 Sistema de Control Primario**

La Raspberry Pi es un placa reducida o placa simple (SBC), se emplea principalmente para sistemas operativos (GNU/LINUX). El software es de código abierto siendo su sistema oficial una versión adaptada de Debian, denominada Raspbian, Incluye un procesador Broadcom, de (1.4GHz quad-core ARM Cortex A53 de 64-bit), 1GB de memoria RAM 40 pines (GPIO) una (GPU), puertos (USB HDMI), conexión inalámbrica Wi-Fi 802.11ac de doble banda (2.4 GHz y 5 GHz), Bluetooth 4.2 de bajo consumo y un puerto Ethernet de 300Mbps, posee cuatro puertos (USB 2.0), y puertos para cámara y pantalla, un conector para (CSI), no dispone de almacenamiento propio si no que al sistema se le debe incorporar una tarjeta de memoria (SD), este se utiliza como almacenamiento principal del sistema el uso eficiente del consumo de energía en relación con sus costo resulta apropiada para entornos educativos, aplicaciones en las áreas de control y comunicaciones. (Perles,2017).

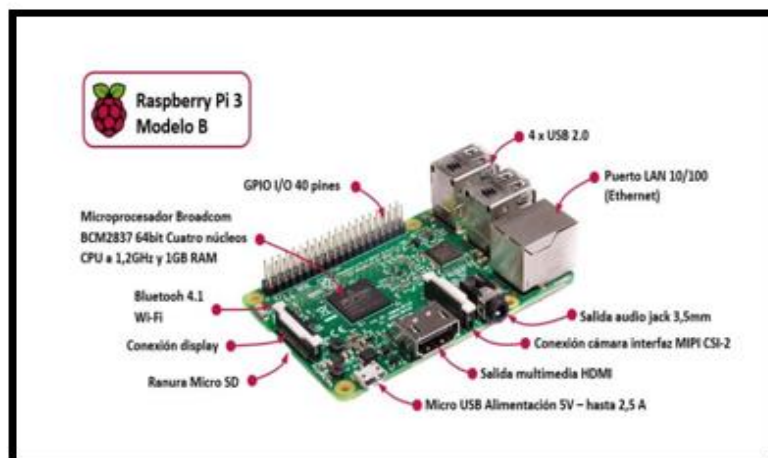


Figura 11. Raspberry Pi modelo 3B.

*Fuente:* Hernández Díaz, F., & Montenegro Gonzales, J., (2018). Configuración Básica para Raspberry Pi 3 y microcontroladores. Universidad Piloto de Colombia. Disponible: <http://www.unipiloto.edu.co/descargas/RaspberryPiypcDuino.pdf>

Las Raspberry pi posee numerosas ventajas en comparación con otro tipo de controladores su velocidad de reloj es una de sus características importantes al igual que su memoria (RAM), lo que permite procesar varias tareas a su vez, la incorporación de conectores para disponer de una pantalla se convierte en uno de sus fuertes porque permite disponer de un miniordenador de tamaño reducido ideal para manejar entornos gráficos, servidores entre otros. (Perles,2017).

### 1.6.2 Sistema Operativo

Las Raspberry Pi deben disponer de distribuciones completas de sistemas operativos de GNU/Linux eso va en dependencia del trabajo que se va realizar, la versión que se utilizó para realizar el prototipo corresponde a una distribución llamada Raspbian basado en Debian, optimizado para este tipo de ordenadores el entorno de escritorio es la GUI (interfaz gráfica de usuario) de este sistema operativo que incluye aplicaciones preinstaladas para procesamiento de textos, herramientas de desarrollo como IDLE, (Entorno de Desarrollo Integrado), para el lenguaje de programación Python o Scratch.

Esta versión más reciente llamada Jessie como sistema base carga por defecto la interfaz gráfica de escritorio incorpora aplicaciones como libre office Claws mail, Asterisk entre otras herramientas, para la instalación del sistema operativo se debe de disponer de una tarjeta micro SD, (Secure Digital), para la instalación, debido a que la Raspberry no posee almacenamiento interno.

Para el desarrollo del prototipo de la unidad de control se utilizó una tarjeta micro de 32 GB de capacidad del almacenamiento para ejecutar la imagen del sistema operativo, esta va contener todos los paquetes y complementos necesarios para el funcionamiento del mini ordenador, otra ventaja es que esta versión se obtiene de forma gratuita no posee ningún costo.

### **1.6.3 Software de Programación**

Un lenguaje de programación específico es el que ejecuta las instrucciones para que una computadora produzca diversas clases de datos, los lenguajes pueden usarse para crear programas que pongan en práctica algoritmos específicos los cuales controlan el comportamiento físico y lógico de un proceso. El lenguaje de programación Python es el que viene por defecto instalado en el sistema operativo de Raspbian, orientada a eventos para la Raspberry Pi, es un lenguaje de scripts, los scripts son un conjunto de instrucciones se ejecutan paso a paso, instrucción a instrucción, permite controlar los pines de la GPIO y ejecutar un bloque de código cuando el pin que estamos comprobando cambia de valor, es un lenguaje interpretado, usa tipado y dinámico es multiplataforma orientado a objetos, programación imperativa y en menor medida, funcional. Una de sus principales ventajas es que tiene una librería estándar que permite ejecutar otras funciones y tareas más complejas con mayor facilidad que otros lenguajes. (Pérez, 2014).

Otra de las ventajas que ofrece Python es que cuenta con una librería estándar que contiene decenas de módulos que cubren la mayoría de las necesidades del programador, entre las cuales tenemos: cadenas, estructuras de datos, servicios de multimedia, comunicación entre proceso etc. Su entorno de trabajo es sencillo

la sintaxis para realizar una tarea no presenta complejidades en comparación con otros lenguajes de alto nivel.

La documentación es otra de las características principales de Python, todas las funciones y clases poseen una variable implícita que se llama docstring o cadena de documentación, estas describen el uso de una función y los parámetros que intervienen en la misma, estas pueden llamarse inclusive en tiempo de ejecución, por lo que se pueden consultar en el propio intérprete usando la función help, modelo muy similar al empleado en Matlab, la librería estándar de Python fue documentada utilizando este método. (Pérez, 2014).

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó este lenguaje debido a que es un lenguaje que posee una sintaxis sencilla, nos permite trabajar en módulos esto nos ofrece la ventaja de tener distintos códigos que se pueden manejar por separado los distintos procesos, es de software libre no tiene ningún costo, y por las características antes mencionada cumple con los requisitos para el desarrollo del proyecto. (Pérez, 2014).

### **1.7 Unidad de Control Secundaria**

Esta unidad está constituida por un microcontrolador estos están concebidos fundamentalmente para ser utilizados en aplicaciones puntuales. Es decir, aplicaciones donde el controlador debe realizar un pequeño número de tareas, el microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria (Valdés & Areny, 2007).

Es un circuito integrado que contiene todos los elementos de un procesador digital secuencial síncrono programable de arquitectura Harvard o Von Neumann, básicamente en su interior contiene una unidad central de procesamiento (CPU), unidades de memoria (RAM y ROM), puertos de entrada. Por su tamaño los microcontroladores permiten empotrar un procesador programable en muchos productos industriales, su coste reducido y su consumo de energía y velocidad

adaptables resulta apropiado para numerosas aplicaciones en las áreas de control y comunicaciones. (Mandado, 2007).

Esta etapa va estar encargada de la adquisición de la medición de los sensores de flujo va controlar el accionamiento de las electroválvulas y nos va permitir el control del motor que es el encargado de activar el agitador.

### **1.7.1 Módulo USART**

Es un módulo de hardware que traduce los datos de paralelo a serial para ser transmitidos, los USARTS son usados comúnmente en conjunto con estándares de comunicación como EIA, RS-232, RS-422 o RS-485. la designación "universal" indica que el formato de los datos y las velocidades de transmisión pueden ser configuradas. Es un circuito integrado individual usado para comunicaciones de un sistema de cómputo, son normalmente incluidas en microcontroladores.

Un USART dual, o DUART, combina dos USART en un solo chip. Actualmente estos circuitos pueden comunicarse de manera sincrónica y asincrónica y son conocidos como USART. Las funciones principales de chip USART son: manejar las interrupciones de los dispositivos conectados al puerto serie y convertir los datos en formato paralelo, transmitidos al bus de sistema, a datos en formato serie, para que puedan ser transmitidos a través de los puertos y viceversa.

#### **Características de los módulos USART:**

- Operación dúplex completa (registros de recepción y transmisión en serie independientes).
- Operación asincrónica o sincrónica.
- Generador de velocidad en baudios de alta resolución.
- Admite transmisión en tramas de datos de 5, 6, 7, 8 o 9 bits de datos y 1 o 2 bits de parada.

La configuración de los registros para la programación del envío de datos entre las etapas del sistema se estructura en la siguiente tabla 2.2. Esta detalla los registros de la trama de datos.

*Tabla 2. Registros del Control de las Variables para las Transmisión de Datos. Fuente: Autor.*

Sincronización	Comando	Variable	Datos	Postambulo
[2 Byte]	[1 Byte]	[1 Byte]	[2 Byte]	[1 Byte]
7 Bits				
Hexadecimal				

A como se puede apreciar en la tabla anterior la secuencia de datos esta agrupada en grupos de 7 bits en formato hexadecimal los cual cada uno de los registros cumplen con funciones distintas que a continuación se van a explicar cada uno de ellos.

**Sincronización:** Este nos indica la sincronización de la comunicación con las dos etapas mediante 2 Bytes en hexadecimal a una velocidad configurable a 9,600 baudios se determina que el sistema está listo para establecer la transmisión.

**Comando:** Los comandos corresponden al inicio del proceso aquí el sistema de determina el estado del proceso estos son: inicio, stop o la solicitud de las variables correspondientes para la realización de la mezcla.

**Variable:** Estas corresponden a las funciones del proceso, y puede ser agua o fertilizante, estas son solicitadas de forma individual y son enviadas a la unidad de control secundaria para que sean ejecutadas.

**Datos:** En este registro se toman en cuenta los dos parámetros que son fundamentales en el proceso, estos son los valores que generan los caudalímetros que deben ser enviados a la unidad de control secundaria para su correcta visualización y que a su vez se almacenen en la base de datos.

**Postambulo:** Este finaliza en flujo de datos se detiene la transmisión y el programa nuevamente vuelve al estado de espera para un nuevo proceso.



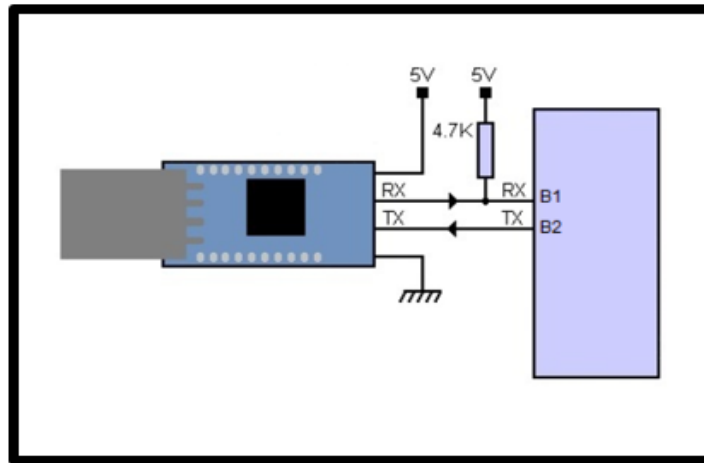


Figura 12. Conexión para comunicación serial entre dispositivos.

Fuente: Suarez, A. (2013). COMUNICACION POR PROTOCOLO RS-232.

Available at: <http://www.niplesoft.net/blog/2017/09/26/usb-cualquier-microcontrolador/>.

## 1.8 Comunicación Serial

National Instruments (2012) define que la comunicación serial ocurre cuando se transfiere los datos un bit a la vez en un orden secuencial a través de un canal de comunicación. Este tipo de comunicación comúnmente es utilizado por muchos dispositivos para instrumentación, por tanto, puede emplearse en aplicaciones para adquisición de datos en conjunto con un dispositivo de muestreo remoto.

Para que exista interacción entre interfaz de usuario y el hardware, es necesario que las señales se comuniquen de un dispositivo a otro y que estas sean compatibles es decir manejen un lenguaje similar, en cuanto a la comunicación serial se encuentran presentes en todos los microcontroladores PIC, que son utilizados como interfaces de control en distintos procesos entre las cuales tenemos el I2C, SCI el puerto USART que es el de uso más común.

La comunicación serial básicamente consiste en enviar y recibir bytes de información bit por bit. Este se implementa en los receptores-transmisores asíncronos universal (USART) que habitualmente se conoce como el puerto serie,

un USART es generalmente un circuito físico o un circuito integrado (IC), independiente pero comúnmente están integrados dentro de los chips de los microcontroladores miniordenadores, o arduinos, el propósito es transmitir y recibir datos en serie.

### **1.8.1 Comunicación serie Protocolo RS-232**

El protocolo RS-232 es un protocolo de comunicación serial asíncrono, esto es, que no tiene un orden de envío de datos entre los dispositivos, por lo que se vuelve necesario el cuidar la sincronización del envío para evitar pérdidas de información o fallos en la comunicación. Otra de sus características principales es ser un protocolo punto a punto, esto es, que solamente permite la comunicación de un dispositivo con respecto a otro empleando una terminal de comunicación determinada.

Esta desarrollado para comunicación serial de dispositivos sencillos, ampliamente utilizado debido a la facilidad de comunicación y las ventajas en costo que representa este tipo de comunicación. A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales. RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (9600, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 o 2), y la cantidad de bits por dato (7 o 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado.

Para dicha comunicación se utilizan dos cables para transmitir datos entre los dos dispositivos, los cuales son un USART transmisor que convierte los datos en paralelo de un dispositivo de control un formato en serie, que recibe la USART receptora, estos datos fluyen desde un pin Tx al pin Rx. Estos datos son transmitidos de forma asíncrona, lo que significa que no hay señal de reloj para sincronizar la salida de bits desde el UART de transmisión hasta el muestreo de bits por el USART de recepción. En lugar de una señal de reloj, la UART transmisora agrega bits de inicio y parada al paquete de datos que se transfiere.

## 1.9 Interfaz gráfica

La Universidad de Sevilla explica que una interfaz gráfica de usuario (GUI, por sus siglas en inglés) es un método para facilitar la interacción del usuario con la computadora a través de la utilización de un conjunto de imágenes y objetos pictóricos (botones, íconos, ventanas, entre otros) además de texto. Surge como evolución de la línea de comandos de los primeros sistemas operativos y una de sus principales ventajas es que ofrece un entorno gráfico sencillo para su aprendizaje y uso.

Existen muchas opciones en cuanto a programas que ofrecen un entorno para el desarrollo de estas interfaces gráficas. La elección del software a utilizar depende de la aplicación para la cual se desarrollará, del sistema operativo en el que se utilizará (Windows, Linux, Mac, Android, entre otros), así como también del lenguaje de programación que se emplea para su diseño. Cabe destacar que algunas de estas herramientas de desarrollo son software libre es decir no se requiere de ninguna suscripción para poder hacer uso de ella, mientras que otras si requieren de la adquisición de una licencia para poder utilizar sus recursos y herramientas. Por tal razón, en el desarrollo de este prototipo se hizo uso de una herramienta de software libre con el propósito de minimizar la inversión requerida.

Unas de las herramientas que se está empleando para el diseño de la interfaz es una librería que se llama Tkinter que dispone el lenguaje de programación Python que viene por defecto con la instalación de la distribución del sistema operativo de GNU/LINUX. A través de la librería grafica veremos cómo interactuar con el usuario pidiéndole el ingreso de datos.

### **1.9.1 Tkinter**

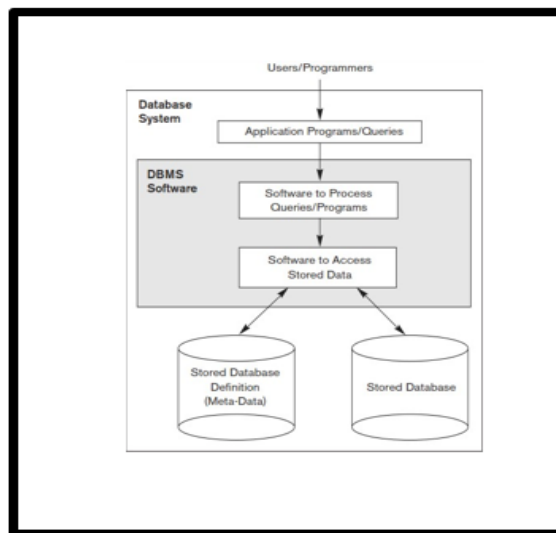
Álvarez (2016) define el software de Tkinter como un paquete de GUI (interfaz gráfica de usuario) estándar de facto del lenguaje de programación Python. Es una capa delgada orientada a objetos sobre (Tcl-Tk), esta herramienta puede utilizarse para desarrollar aplicaciones de consola y de interfaces gráficas, Framework, aplicaciones web y sitios web, es el que viene por defecto con la instalación para la mayoría de las distribuciones GNU/Linux, la capa de librería (Tk), que es otro complemento que incorpora este lenguaje, al igual que un sinnúmero de módulos que nos permiten realizar múltiples tareas para el desarrollo de distintos tipos de trabajos.

Con el objetivo de reducir los costos de la implementación del prototipo se decidió utilizar Tkinter que al igual que el lenguaje de programación Python son de Software libre, para desarrollo de la interfaz gráfica de usuario del proyecto se utilizó este software que incorpora Python, ya que cuenta con los recursos necesarios para poder realizar esta tarea. Otro aspecto importante a destacar es la cantidad de información que se encuentra disponible.

### **1.10 Base de Datos**

Elmasri y B. Navathe (2011) explican que una base de datos es una colección de datos relacionados, los cuales son elementos conocidos que pueden ser almacenados y tienen un significado implícito. Toda base de datos posee una fuente de donde el dato es proporcionado, cierto grado de interacción con eventos en el mundo real, y un grupo de personas interesadas en el contenido de la base de datos llamado audiencia. La información en la base de datos puede cambiar por acciones del usuario final o por eventos que puedan suceder.

Las bases de datos pueden ser generadas y mantenidas manualmente o de manera computarizada. Cuando éstas son computarizadas, se debe hacer uso de un sistema de administración de base de datos, para que puedan ser creadas y mantenidas. Un sistema de administración de base de datos (DBMS, por sus siglas en inglés), es un conjunto de programas que permite al usuario crear y darle mantenimiento a una base de datos y realizar una serie de funciones como definir, construir, manipular y compartir bases de datos con más usuarios y aplicaciones. Para poder acceder a la base de datos se necesita de una aplicación de programa que pregunte o solicite un dato al DBMS. La figura 13 ilustra lo anteriormente descrito.



*Ilustración 13. Ambiente del sistema de administración de base de datos simplificado. Tomado de Elmasri y B. Navathe (2011)*

### 1.10.1 MySQL

Según su manual de referencia, MySQL es el sistema de administración de base de datos de código abierto SQL más popular, y es desarrollado, distribuido y soportado por Corporación Oracle. Las bases de datos de este programa almacenan datos en tablas separadas en vez de poner todos los datos en un sólo archivo de almacenamiento. Su modelo lógico con estructuras, tales como esquemas o bases de datos, tablas, columnas, índices y filas ofrecen un ambiente

de programación flexible. Este software hace que se cumplan las reglas que gobiernan la relación entre los diferentes campos de datos evitando así que se presenten ciertas inconsistencias tales como datos faltantes, repetidos, o desactualizados.

Este software emplea el lenguaje de consulta estructurada (SQL, por sus siglas en inglés), el cual es el lenguaje estructurado usado más comúnmente para acceder a bases de datos. Dependiendo del ambiente de programación uno puede entrar directamente a SQL, introducir comandos SQL en un código escrito en otro lenguaje o usar un lenguaje específico API que oculte la sintaxis SQL. Este software también posee una librería multihilo embebida que puede añadirse a cierta aplicación para obtener un producto independiente más pequeño, más rápido y más fácil de administrar, como en el caso del trabajo desarrollado.

En este trabajo monográfico se utilizó una base de datos para almacenar todas las mediciones de cada sustancia que se emplean para el proceso de fertirrigación a través de una interfaz gráfica desarrollada en Tkinter un paquete estándar que incorpora el lenguaje de programación Python, este software ofrece la ventaja de interactuar con otros ambientes de desarrollo para poder acceder al contenido de la información del entorno de la base de datos y también es de uso libre, permitiendo así reducir los costos del desarrollo del prototipo.

## **Capítulo II: ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los aspectos relacionados con el diseño e implementación del sistema, además se describe la metodología adoptada, pruebas y resultados obtenidos en la implementación del proyecto.

La investigación realizada es de tipo aplicada debido a que el propósito principal es la búsqueda de la solución a un problema práctico, utilizando los conocimientos adquiridos durante todo el transcurso de la carrera. Para brindar una respuesta a lo antes mencionado la solución a brindar consiste en automatizar el proceso de mezclado de fertilizantes líquidos para invernaderos de tipo micro túnel que disponen de riegos tipo goteo, con la incorporación de herramientas más eficientes al sector agrícola se logra una mayor incidencia sobre la capacidad productiva otro de los objetivos principales es la reducción de mano de obra en los tiempos de aplicación de cada etapa del cultivo de hortaliza la ventaja de aplicar el fertilizante a través del flujo de agua es que permite obtener mejores rendimientos y se logra un ahorro en la distribución del abono, ahorro de los fertilizantes con un sistema automatizados de fertirrigación se obtiene flexibilidad en la aplicación por lo que el abonado se realiza en dependencia a las necesidades del cultivo en cada momento.

La metodología adoptada es del tipo cuantitativa, ya que es posible validar la funcionalidad del sistema desarrollado mediante la utilización de rubricas de desempeño a través de las cuales se va determinar la eficiencia del sistema de fertirrigación.

## 1. Etapa de análisis

El NUEVO DIARIO publicó un artículo en noviembre del año 2017 donde resalta que se cultivaran hortalizas en invernaderos con el objetivo de aumentar los rendimientos de producción. (Mendoza F.,2017). Según el artículo señala que la falta de financiamiento y los métodos ineficientes y tradicionales no permiten avances significativos en la producción de hortalizas, otro de los inconvenientes es que los productores no disponen de invernaderos para cultivar los distintos rubros este tipo de estructuras cerrada cubierta por materiales, ofrece múltiples ventajas: protege el cultivo en sus primeras etapas contra los agentes climáticos, plagas, así como enfermedades que afectan severamente a las plantas en comparación con la siembra a campo abierto esta herramienta permite obtener mayores rendimientos por que los espacios son controlados.

Desde la etapa inicial de este proyecto procedimos a investigar los sistemas de preparación de abonos disueltos que disponen los productores del sector agrícola en Nicaragua, posteriormente se solicita una primera entrevista al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agropecuario que es el encargado de proveer técnicas y tecnologías a todos los pequeños y grandes productores de nuestro país<sup>2</sup>.

Posteriormente se procedió a enviar una carta a dicho Centro firmada por los autores que llevan a cargo este trabajo monográfico y el Vicedecano de la Facultad solicitando a la institución que brindara información sobre los equipos que realizan las labores de aplicación de abonos disueltos y los sistemas de riego que disponen los invernaderos de tipo mico túnel, a través de la entrevista realizada al Ingeniero Carlos Ernesto Moreno nos afirma que dicha institución no poseen sistemas de fertirrigación todas estas labores se realizan de forma manual lo cual resulta imprecisas y poco eficiente, por lo que se procedió a preguntarle cuáles debían ser los requerimientos que debe cumplir un prototipo para realizar las labores de fertirrigación.

---

<sup>2</sup> Anexo 1. Carta para solicitud de información.



De acuerdo al resultado de la visita realizada al Centro de Investigación los requerimientos a cumplir para el diseño del sistema son los siguientes<sup>3</sup>:

- El sistema debe disponer de una interfaz de usuario sencilla fácil de utilizar para que el operador realice la preparación de los fertilizantes líquidos.
- Que muestre registros detallados por cada aplicación realizada esta debe contener la cantidad de cada insumo aplicado y el total de mezcla realizada con el objetivo de garantizar un mayor control sobre los insumos que se utilizan en las distintas etapas.
- Uso de Hardware y Software robustos que permitan la escalabilidad futura del sistema.
- De fácil mantenimiento y de bajo costo económico.

---

<sup>3</sup> Anexo 2. Requisitos del prototipo

## 2. Diseño del Sistema

### 2.1 Esquema general del sistema de control

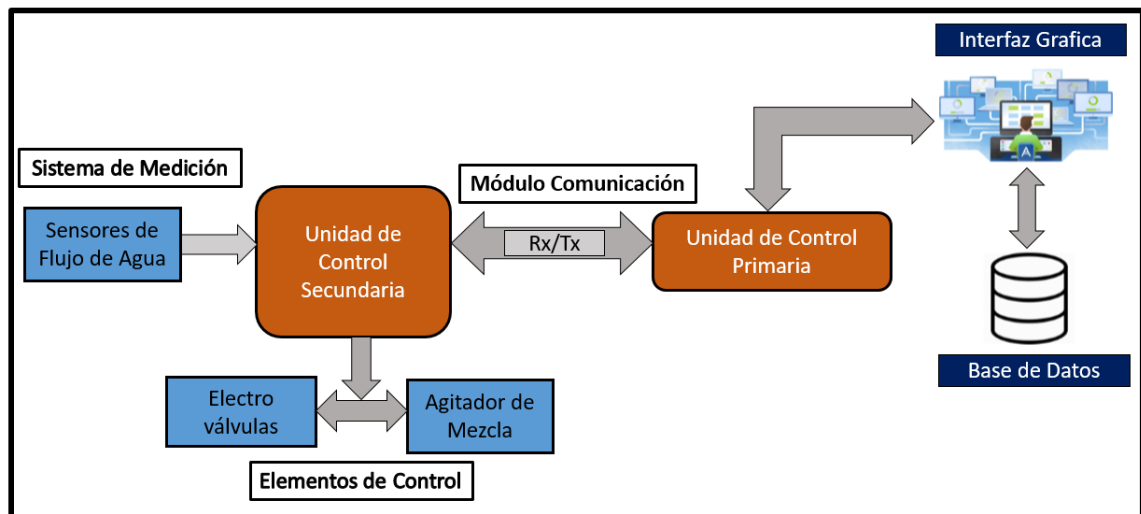


Figura 14. Diagrama de bloque del proyecto implementado. Fuente: Autor.

En esta etapa se contemplan todos los aspectos relacionados con el desarrollo del sistema comenzando con un esquema general del sistema y luego describiendo cada uno de los bloques que lo conforman. La figura 14 muestra el diseño del sistema general para la realización de mezclas de fertilizantes.

De acuerdo a la figura anterior, el sistema está conformada por dos etapas de control y funciona de la siguiente manera: primeramente, el operador encargado de la fertirrigación dispone de una interfaz gráfica para realizar la preparación de los abonos disueltos donde procede a ingresar las cantidades correspondientes de cada sustancia y su tiempo de preparación, la unidad de control primaria envía los parámetros que anteriormente ingreso el usuario a través módulo USART que emplea el protocolo RS-232 para la comunicación serial entre ambas etapas.

La unidad de control secundaria cumple con la tarea de ejecutar las órdenes y procesar la información que registran los sensores de flujo una vez que verifica la cantidad correcta entran en función los elementos de control las electro válvulas que finalizan el proceso impidiendo la circulación de agua de tal manera que garantiza la cantidad exacta para que las mezclas queden completamente

disueltas se dispone de un agitador que mediante la interfaz se programa el tiempo estipulado para que estas puedan disolverse correctamente de esta forma se evita posibles obstrucciones a la tubería. También nos va permitir que las mediciones que registran los sensores por cada aplicación realizada se almacenen en una base de datos creada en MySQL DB donde se detalla los registros y el historial de los distintos insumos aplicados al cultivo.

## **2.2 Diseño del Sistema de medición**

### **2.2.1 Selección de los componentes principales del sistema.**

En esta sección se describen los criterios tomados en consideración para la elección de los componentes que integran el prototipo desarrollado en este trabajo monográfico, puesto que la revisión de literatura llevada a cabo muestra que existen diversas tecnologías para el desarrollo de un sistema automatizado para la preparación de abonos disueltos. Dentro de los criterios más relevantes se encuentran la escalabilidad que las tecnologías seleccionadas pueden proporcionar al sistema, su efectividad, su bajo costo, entre otros.

### **2.2.2 Selección de sensores**

Para la verificación del flujo de agua los sensores más utilizados son los caudalímetros o flujómetro, estos son empleados para la medición volumétrica de líquidos o gases, para medir su caudal lineal, estos determinan internamente la presencia o ausencia de un fluido, son de tipo apagado/encendido el uso de estos dependen del tipo de sustancia que se necesita medir. Existen distintos tipos de sensores donde se encuentran los sensores de flujo, estos están formados por un grupo muy heterogéneo de modelos que se diferencian, tanto por la variedad en el principio físico en el que se basan para realizar las medidas, como por las aplicaciones a las que se adaptan. El caudal se asocia frecuentemente a los procesos continuos y son las magnitudes más medidas en la industria, lo que también ha motivado al desarrollo de métodos para su utilización.

Por otra parte, los sensores de flujo consumen poca energía para operar, los rangos de operación son de 1 hasta 60 litros por minutos, la temperatura y presión se deben seleccionar de acuerdo al tipo de fluido y el caudal de operación.

Para el desarrollo del sistema propuesto, el sensor seleccionado debía cumplir con las siguientes características:

- Rango aceptable de medición de 1-30 litros por minutos.
- Bajo consumo energético.
- Fáciles de instalar.

Los caudalímetros fueron seleccionados para la medición de los fertilizantes líquidos, dado que cumplen con todos los criterios establecidos.

Comercialmente existen una gran cantidad de opciones de sensores de agua o gas u otras sustancias. Actualmente hay un sinnúmero de empresas que se dedican a la producción de caudalímetros, dentro de las cuales se encuentran Yokogawa, Siemens, Omega, Krohne entre otras. Los sensores que éstos ofrecen se diferencian de acuerdo a ciertos parámetros tales como: caudal de disparo, pérdida de presión, impurezas en los fluidos, tipos de fluido y el costo.

Para la medición de agua y las soluciones nutritivas se seleccionaron los sensores de flujo YF-S201B de la empresa Sea. Estos se seleccionaron debido a que abarcan los rangos de flujo son de 1 a 30 litros por minutos, es adecuado para un tubo estándar de media pulgada lo cual se puede instalar en los sistemas de riego que se esté empleando en los invernaderos.

En la figura 15 respectivamente, se observa una vista general del sensor y se describen sus principales características de desempeño.

#### **Características de desempeño del sensor YF-S201B:**

- Sensor de Flujo YF-S201.
- Tipo de sensor: Hall Effect
- Voltaje de funcionamiento: 5 a 18 V DC

- Max consumo de corriente: 15 mA a 5 V
- Tipo de salida: 5V TTL
- Trabajo Caudal: de 1 a 30 litros / minuto
- Temperatura de funcionamiento: -25 a 80 °C
- Humedad de trabajo Rango: 35% -80% de humedad relativa
- Precisión:  $\pm 2\%$
- Rango de flujo: 1-30L/min
- Modo de detección: Vertical
- Presión máxima del agua: 2,0 MPa
- Ciclo de trabajo de la salida: 50% + 10%
- 1/2 "conexiones nominales de tubería, 0.78" de diámetro exterior, 1/2 "de la rosca.

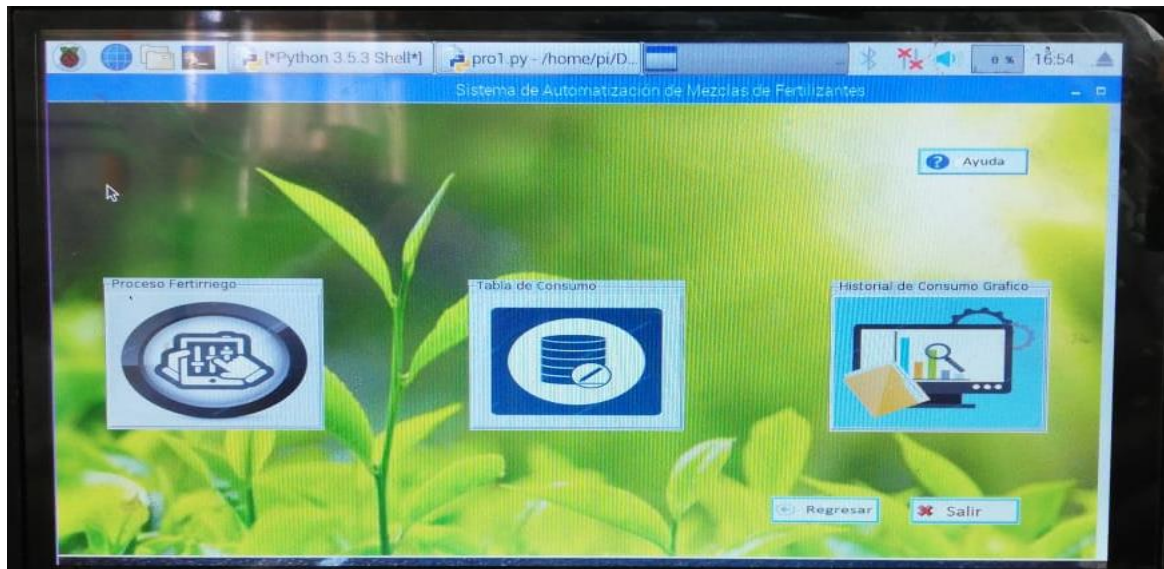


*Ilustración 15. Vista general del sensor de flujo YF-S201. Fuente: Autor.*

### **2.2.2 Pantalla táctil multi Touch**

Basado en los requerimientos y las consideraciones de diseño para la interacción del sistema con el operador se dispone de una pantalla táctil capacitiva 1024 x 600 de resolución de 7 pulgadas con dos puertos host USB, esta va permitir ingresar los parámetros para realizar aplicaciones de abonos disueltos y también mostrar la información que contienen la base de datos de la cantidad de insumos que se utilizaron en cada uno de los procesos.

Este tipo de pantallas facilita la interacción con el operador debido a que con un toque directo sobre la superficie nos va permitir la entrada de datos, también va mostrar los resultados previamente establecidos esta va actuar como periférico de entrada y salida. La figura 16 muestra los aspectos físicos de la pantalla.



*Figura. 16. Pantalla táctil capacitiva multi Touch. Fuente: Autor.*

Se seleccionó la pantalla porque su tamaño y su resolución son adecuadas para una interfaz de usuario, lo cual nos va permitir es ingresar los datos con facilidad dispone de entrada HDMI la alimentación es a través de entrada micro USB.

#### **Características y parámetros de funcionamiento:**

- Compatible con Raspbian, Ubuntu Mate, NOOBS con RaspberryPi
- Potencia: 5V de alimentación a través de USB Micro
- Corriente: Máx. 500mA
- Control táctil capacitivo USB
- Interfaz: HDMI y USB 2.0 a toda velocidad
- Soporta Debian, Angstrom con BeagleBone
- Retroiluminación de consumo ULP (Ultra Low Power)

## **2.3 Selección para los elementos de Control**

### **2.3.1 Electro válvulas solenoide**

Para garantizar control de las cantidades requeridas en cada proceso de aplicación de abonos disueltos se utilizó una electroválvula magnética DC 12V de 1/2 pulgada con modo de operación normal mente cerrada garantizando el control de pase de los distintitos fluidos, de modo que proporciona la cantidad exacta de cada sustancia que contienen los depósitos de agua y fertilizante en cada proceso que va realizar el operario encargado del cultivo.

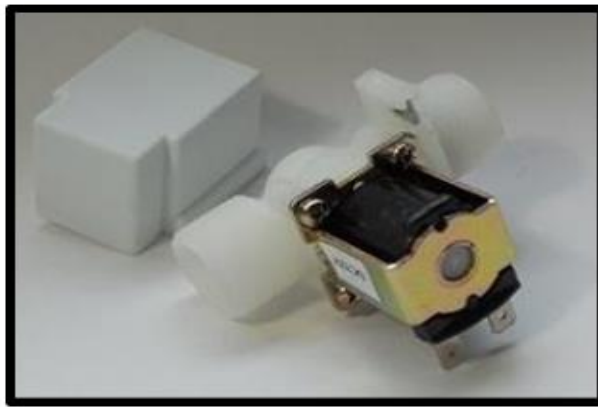
Las electroválvulas se seleccionaron porque vienen diseñadas para trabajar con agua y con fluidos de baja viscosidad, esto es de suma importancia mencionarlo, porque el sistema va a trabajar con agua y fertilizantes y se debe de garantizar que la mezcla resulte lo más soluble posible con el objetivo de evitar posibles obstrucciones en la salida de la válvulas y los sensores de flujo, otra ventaja es que posee una cubierta de metal con plástico resistente, que de acuerdo a un estudio realizado por el SIAR de España (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío) recomienda que el tipo de material para los sistemas de fertirrigación deben ser de plásticos con el fin de evitar corrosiones como las que se genera el hierro o el acero.

La ventaja que ofrecen es que son de bajo consumo energético, de fácil manejo vienen con entradas para tubería de media pulgada el tamaño permite que se pueda adaptar fácilmente, se pueden utilizar en sistemas multi-válvula y en distintos tipos de ambiente, a lo mencionado anteriormente se le agrega que su costo lo hace accesible al presupuesto del proyecto; sus principales características se encuentran en la siguiente figura 17.

#### **Características de desempeño Electroválvula:**

- Válvula solenoide de 1/2" pulgada.
- Alimentación 12V.
- Corriente de operación: 0.6A
- Uso: agua y fluidos de baja viscosidad.

- Material: Plástico.
- Presión: 0.02- 0.8Mpa.
- Ambiente de trabajo: Agua, Gas y Aceite.
- Temperatura de trabajo: 0- 100 °C.
- Voltaje: AC/DC 6/9/12/24/36110/220V.
- Servicios de alta velocidad
- Reposo: Normalmente cerrado



*Figura 17. Vista general de la Electrovalvula solenoide. Fuente: Autor.*

### **2.3.2 Módulo Relays de 4 canales**

Para el accionamiento de las electroválvulas se utilizó un módulo relays full opto acoplado SRD-5VC-SL-C, de cuatro canales, este se encuentra normal mente cerrado funciona con 5 voltios, y nos va permitir manejar cargas de 10 amperios, de esta manera garantizamos el control de apagado en cada una de las válvulas de pase lo cual es necesario por cada aplicación de fertilizantes y agua que se necesite cuando se esté realizando el proceso.

En la figura 18 se puede observar el módulo Relays de 4 canales con sus características de desempeño.



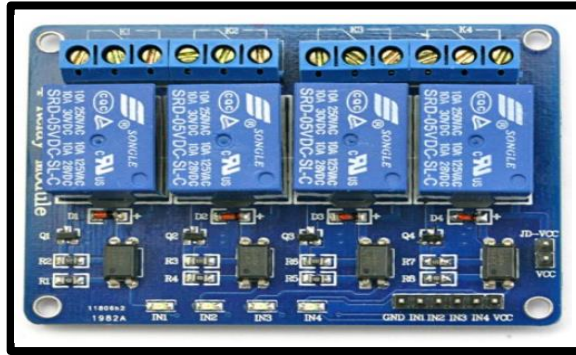


Figura 18. Vista general de un Módulo Relays de 4 canales. Fuente: Autor.

### Características Modulo Relays:

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Señal de Control: TTL (3.3V o 5V)
- N° de Relays (canales): **4 CH**
- Modelo Relays: SRD-05VDC-SL-C
- Capacidad máx.: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máx: 10A (NO), 5A (NC)
- Tiempo de acción: 10 ms / 5 ms
- Entradas Optoacopladas
- Indicadores LED de activación.

### 2.3.3 Motor AC síncrono

Este tipo de motores son más eficaces, no pierden velocidad. Además, al no existir deslizamiento tampoco habrá desfase de corriente, por lo que la energía relativa es nula y no necesita condensadores para su compensación. El rendimiento es mejor y el consumo también.

Para garantizar la solubilidad de las mezclas se optó por utilizar el motor YJ48-12 debido a que posee un torque mayor que en los motores asíncronos lo que garantiza una velocidad estable ante cambios bruscos de carga. El motor aquí propuesto tiene, además, la ventaja de su facilidad de arranque ya que puede ser arrancado con los mismos métodos que los utilizados en los motores asíncronos

esto permite generar una velocidad constante lo que es ideal para garantizar una mezcla uniforme.



*Figura 19. Vista general de un motor AC YJ48-12. Fuente: Autor.*

#### **Características de motor AC:**

- Tensión de 120-240V.
- Frecuencia de 50/60Hz.
- Diámetro del eje (mm) 2. 5, 3. 17, 4. 0, 4. 6, 5. 0, 5, 6. 0, 6. 35.
- Grosor del núcleo 8mm.
- Vida útil 5000-10000 Hora.

#### **2.3.4 Fuente de alimentación conmutada de 12V/10 Amperios**

Una fuente de alimentación es un dispositivo que convierte las tensiones alternas de la red de suministro, en una o varias tensiones, prácticamente continuas, que alimentan los distintos circuitos del aparato electrónico al que se conecta. La fuente conmutada alimentará el módulo relé de 4 canales y las electroválvulas, proporcionando una línea de 12 voltios independientes, la fuente dará un amperaje estable y permitirá que las electroválvulas funcionen adecuadamente y no se pierda tanto el voltaje como el amperaje. También se encargará de alimentar el sistema de control el cual cuenta con un regulador de voltaje LM7805 debido a que este necesita 5 voltios para su adecuado funcionamiento.



Figura 20. Fuente de Alimentación Conmutada de 12V/10A. Fuente: Autor.

### Características de la fuente de alimentación conmutada de 12V/30A:

- Potencia de salida: 120W
- Entrada: AC 100V o 240V (Incluye conmutador para selección)
- Salida: +12V DC 10A
- Dimensiones: 22 x 11 x 5 cm
- Protección de cortocircuito

### 2.3.5 Censo de carga

En la siguiente tabla se muestra los componentes de mayor consumo del sistema de fertirriego, a continuación, se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3: Consumo de los componentes del sistema. Fuente: Autor.

Componente	Cantidad	Consumo en mA	Consumo en mW
PIC18F14K50	1	32	160
Módulo Rele de 4 canales	1	20	100
Electroválvulas	2	1,200	14,400
Sensores de flujo	2	30	150
Módulo USART	1	40	200
LM7805	1	500	3,500
Total		1,822	18,510

A partir del anterior censo de carga se puede concluir que la fuente de alimentación debe suministrar al sistema la cantidad de 18,510mW para su óptimo funcionamiento.

## 1. Módulo de comunicación

En esta sección se describe el proceso para la selección e implementación del sistema de comunicación para la transferencia de datos de la unidad de procesamiento a la etapa del sistema de control.

### 3.1 Selección del sistema de comunicación

El módulo de comunicación serial que se utilizó para el envío de datos del sistema de control a la unidad de procesamiento fue el módulo USART (**Receptor Transmisor Asíncrono Universal**), de la empresa FTDI, este nos va permitir controlar a la etapa de control mediante la información que se le envía para la ejecución de las distintas tareas, los datos son enviados en serie en grupos de 7 bits a una velocidad de 9,6000 bits por segundo, el protocolo que se utiliza para este tipo de comunicación es el estándar RS-232 esta interfaz permite el intercambio de datos entre ordenadores y microcontroladores que disponen de puertos serie.

En la figura 21 se puede apreciar como luce este módulo y sus características principales:

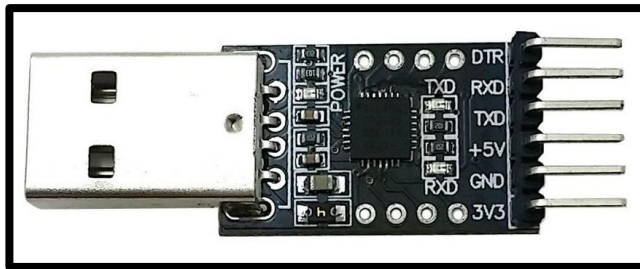


Figura 21. Vista general del módulo USART USB. Fuente: Autor.

#### Características de desempeño del módulo USART:

- Velocidades de datos de hasta 1Mbps.
- Interfaz de módulos RS232, Serie, USART, USB.
- Distancia de transmisión de hasta 15 metros.

- Transferencia de datos de hasta 1 Mbaudio.
- Voltaje de Operación: 5 V.
- Interfaz USART con capacidad para 7 u 8 bits de datos.

Otras de las ventajas que ofrece este módulo es su bajo costo son fáciles de usar y cumple con los requerimientos para la establecer la comunicación entre ambos sistemas, la distancia no es un factor determinante por lo que cumple con los requisitos para comunicación alámbrica por lo antes mencionado decidimos emplear el módulo USART para la realización del proyecto.

## **3.2 Unidad de control primaria**

### **3.2.1 Raspberry Pi**

La Raspberry pi es uno de los principales componentes del sistema de control, es el que realiza la adquisición de los datos provenientes de la unidad secundaria mediante el módulo USART empleando el protocolo RS-232 para el envío y recepción de datos, también cumple con la función de almacenar los datos en una tabla creada en MySQL de cada aplicación de fertilizantes que requirió el cultivo en las distintas etapas de crecimiento, con la incorporación de una entrada HDMI en su diseño nos va permitir disponer de una pantalla multi Touch táctil donde el operador va realizar las tareas de fertirrigación a través de la cual se va a poder visualizar los registros de aplicación los historiales de consumo y los meses que se realizaron aplicaciones.

Específicamente se seleccionó las Raspberry Pi 3B por que cumple con los requerimientos necesarios para la implementación del sistema (ver tabla 3). dispone de entradas para comunicación, incorpora una entrada HDMI para conectar una pantalla Multi Touch con la cual el operador va interactuar con el sistema para realizar las labores de aplicación de abonos disueltos, otra ventaja es que permite trabajar con distintos sistemas operativos es de software abierto, cabe destacar que a como se dijo anteriormente la elección se basa en dependencia de requerimientos para la imagen del sistema operativo.

Se seleccionó la distribución Debian basada en GNU/Linux para el sistema operativo de la Raspberry pi porque se obtiene de forma gratuita no posee ningún costo dispone de miles de complementos y por defecto incorpora paquetes pre compilados, el lenguaje de programación Python viene por defecto en el sistema, los complementos para el gestor de base de datos de MySQL se deben descargar para poder ser utilizados mediante la línea de comando, otras de sus características es que incorpora un procesador de 4 núcleos ARM Cortex-A53 con una velocidad de 1,2 GHz con un 1 GB De RAM, lo suficiente para procesar las mediciones registradas y almacenarla por cada proceso que envía la etapa de control mediante el puerto serial.

*Tabla 3. Recursos del Miniordenador a Utilizar. Fuente: Autor.*

<b>Características del Mini ordenador a utilizar</b>
Comunicación serial
Bajo consumo de energía
Entrada HDMI

Cabe resaltar que el único inconveniente pero que no genera problema alguno para la realización del prototipo es que nos dispone de almacenamiento interno por lo que esta dispone de un ranura en su diseño para que se inserte una memoria SD, la cual contiene la imagen del sistema por lo que en nuestro caso se utilizó una micro SD Kingston de clase 10 de 32 GB de almacenamiento, otro aspecto a mencionar es que el costo es mucho menor en comparación con otros mini ordenadores y posee un bajo consumo energético.

### **3.3 Unidad de control secundaria**

#### **3.3.1 Selección del microcontrolador**

El microcontrolador es el dispositivo que se encarga de procesar los datos generados por los elementos sensores, el accionamiento del módulo de control ejecuta las ordenes provenientes de la unidad de procesamiento esta etapa tiene la finalidad de garantizar el control de apagado y encendido de las electroválvulas registrar las mediciones de cada proceso el control de activación del agitador.

Para la comunicación del miniordenador con el sistema de control se está empleando un módulo USART la recepción se hace a través de las entradas de transmisión y recepción que posee, para la comunicación se emplea la norma RS-232 esta interfaz nos va permitir el intercambio de información entre la unidad de proceso y el sistema de control esto nos va permitir que cada aplicación realizada que se registra se va almacenar en una base de datos para posteriormente visualizar dicha información que detalla los totales de cada aplicación realizada.

En el mercado existe una amplia variedad de microcontroladores de distintas compañías, cuyos modelos se diferencian por su costo y funciones especiales. Por lo tanto, hubo varias alternativas para la selección del microcontrolador, y éstas debían ofrecer una buena capacidad de procesamiento y un bajo consumo de energía a un precio moderado.

El primer paso es conocer la cantidad de pines de Entrada/Salida que son requeridos por cada uno de los componentes conectados al microcontrolador, para determinar la cantidad mínima de puertos E/S con los que debe contar.

Lo siguiente es que ciertos componentes necesitan que el microcontrolador posea ciertas características específicas, por ejemplo, contar con puertos de comunicación serial, Comparadores Interrupciones, entre otros de tal manera se debe identificar qué características necesita tener integradas el microcontrolador para la interacción con estos dispositivos.

La empresa Microchip, una de las marcas más reconocidas en el suministro de microcontroladores para el desarrollo de sistemas embebidos, posee varias familias de microcontroladores, dentro de las cuales se encuentra la familia PIC18(L)F2X/4XK22, que cumple con los requerimientos necesarios para la implementación del sistema (ver tabla 4).

Específicamente se seleccionó el PIC 18F14K50, por que posee las características necesarias que se mencionaron anteriormente cuenta con el número de E/S necesarias para el proceso es un integrado de 20 pines, dispone de tres entradas con interrupciones para los sensores de flujo de agua, posee una memoria de (16 Kbytes), dispone de entradas de recepción y transmisión para establecer comunicación serial hacia la unidad de procesamiento la Raspberry pi, otra de sus características es su bajo consumo de energía.

Este dispositivo también se encuentra disponible en el software Proteus, lo que permite realizar las simulaciones de los subsistemas y del sistema a nivel general para corregir errores antes de la implementación física de éstos.

*Tabla 4. Recursos Demandados del Microcontrolador a utilizar. Fuente: Autor.*

<b>Características del microcontrolador a utilizar</b>
Comunicación USART
3 Entradas con Interrupciones
Oscilador interno
Bajo consumo de energía



### 3.3.2 Algoritmo del programa del microcontrolador

En la figura 22 se muestra un Grafcet realizado en el programa Días de las funciones principales que ejecuta el microcontrolador, que posteriormente se desarrolló y se implementó <sup>4</sup>, usando el compilador PIC C de la compañía CSS, para la elaboración del programa como se puede apreciar en la imagen, el sistema está en reposo y espera el ingreso de los paramentos requeridos para realizar el proceso, cuando se presiona el botón de inicio las electroválvulas se activan y dejan pasar la cantidad de agua establecida, finaliza el llenado y el sistema manda la orden para apagar las válvulas de pase, el microcontrolador manda la orden para activar el motor que dispone el agitador este permanecerá encendido en dependencia del tiempo de temporización que se estableció para realizar la mezcla, cuando finaliza el tiempo de mezclado el sistema vuelve a su estado inicial.

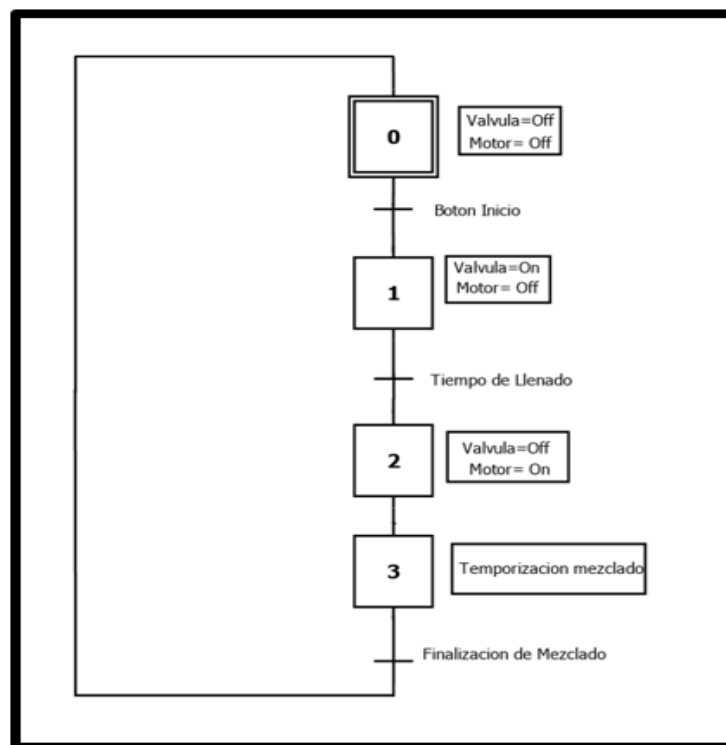


Figura 22. Grafcet del programa en el microcontrolador. Fuente: Autor

<sup>4</sup> El script desarrollado se encuentra en los Anexos

### 3.3.3 Algoritmo de la Interfaz gráfica

La interfaz gráfica es la que permite que el usuario interactúe con la unidad de control primaria y esta envía las órdenes a la unidad secundaria que dispone de los subsistemas de medición y control de los periféricos. El modelo de la interfaz dispone de un usuario y su contraseña que deben estar registrados para poder acceder a ella. También va permitir al operador ingresar los parámetros de cada sustancia y la cantidad de agua que se requiere por cada aplicación que necesita el cultivo, así como el tiempo de preparación necesario para obtener una mezcla soluble, la interfaz también permite obtener los registros mensuales o de forma anual de los insumos utilizados en cada etapa, mostrando gráficas y tablas de consumo por cada uno de los procesos que se realizaron.

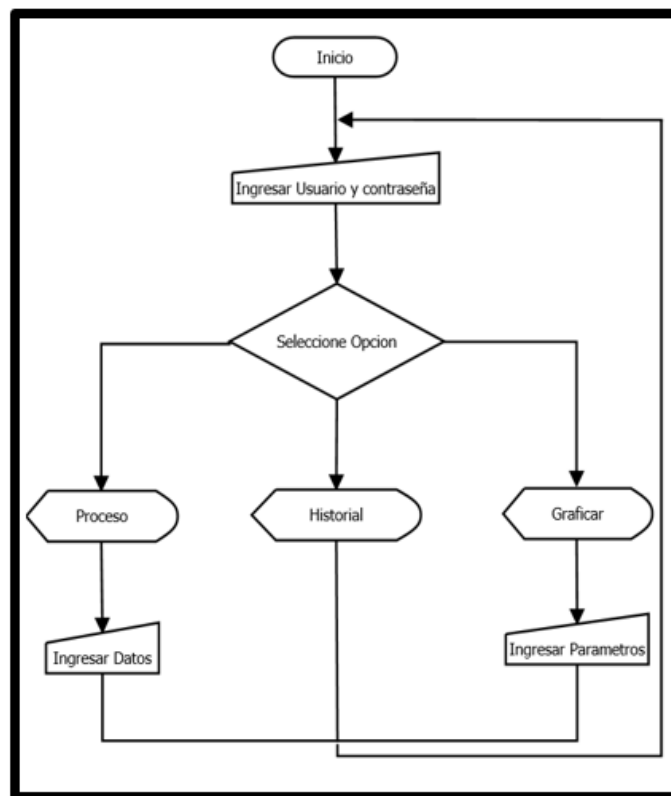


Figura 23. Modelo de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.

La interfaz gráfica desarrollada para este prototipo contiene una ventana de inicio donde el usuario tiene que ingresar su nombre de usuario y una contraseña para poder acceder a las funciones que incorpora el sistema (ver figura 24).



Figura 24. Ventana de Inicio de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.

Los nombres de usuarios y sus contraseñas se almacenan en una tabla llamada “datos” que se encuentra la línea de comando de MySQL. En la siguiente captura de pantalla se muestra el contenido de la tabla “datos” desde del entorno del software MySQL Comand Line.

USUARIO	clave
fanor	1995
josue	1996
sonri	1994
gustavo	1993

Figura 25. Tabla que Contiene los Datos de los Usuarios que pueden Acceder a las Funciones de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.

Una vez que el usuario ha iniciado sesión correctamente se muestra inmediatamente una ventana que contiene tres íconos, los cuales al presionarse permiten al operador del fertirriego hacer uso de la función que representan. La figura 26 ilustra el contenido de esta ventana.

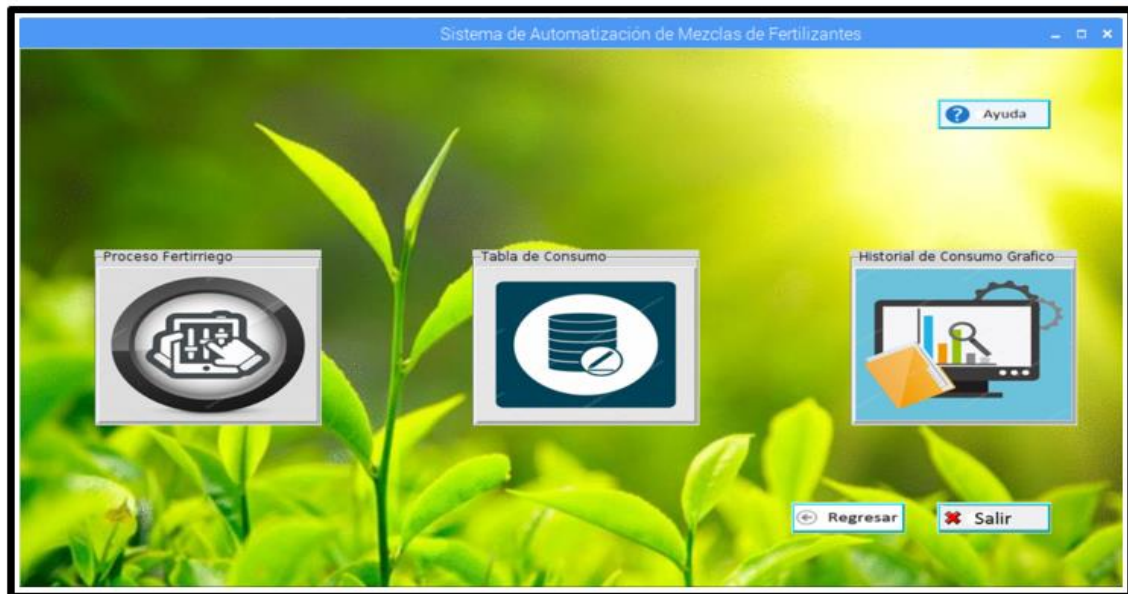


Figura 26. Funciones de la Interfaz Gráfica. Fuente: Autor.

La opción proceso fertirriego permite al usuario realizar la preparación del mezclado de fertilizantes líquidos, previamente para poder llevar a cabo esta función una serie de parámetros deben ser ingresados correctamente (ver figura 27). Estos datos corresponden a la cantidad de agua y la cantidad de fertilizante que se va utilizar (Boro, Potasio calcio y fósforo, metalosate zinc y multimineral), y el tiempo que se le debe asignar para la preparación de las mezclas que va necesitar el cultivo es de suma importancia garantizar que la mezcla quede completamente soluble para evitar obstrucciones en la tubería.

Las programaciones de aplicación de fertilizantes líquidos van en dependencia de la necesidad del cultivo la mayoría de los productores realizan fertirrigación una vez por semana o cada ocho días según estimen conveniente o si carece de alguna deficiencia o plagas que estén afectando su desarrollo.

Figura 27. Ventana para el Ingreso de Parámetros. Fuente: Autor.

Una vez que los parámetros han sido ingresados correctamente se presionan los botones de vaciado de agua y fertilizante se asigna el tiempo de mezclado y por último presionamos inicio para realizar la preparación de la mezcla de los fertilizantes.

Otra de las funciones que dispone la interfaz es la opción de mostrar tabla de consumo en esta opción que posee la interfaz se visualizan y se almacenan todos los registros de cada aplicación que se le hizo al cultivo esta información se almacena en tablas que detallan la cantidad de cada elemento utilizado, el total de cada sustancia la hora y la fecha en que se realizó.

Sistema de Automatización de Mezclas de Fertilizantes			
Historial de Consumo			
Fecha Y Hora	Agua	Fertilizante	Mezcla
2018-10-07 10:30:00	5.0	3.0	8.0
2018-10-15 11:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-10-25 09:30:00	5.0	4.0	9.0
2018-11-08 09:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-11-16 09:30:00	4.0	5.0	9.0
2018-11-26 08:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-12-06 08:30:00	4.0	3.0	7.0
2018-12-14 01:30:00	5.0	5.0	10.0
2018-12-24 01:30:00	4.0	5.0	9.0
2019-01-07 09:30:00	4.0	4.0	8.0
2019-01-15 11:30:00	5.0	4.0	9.0
2019-01-26 12:30:00	3.0	5.0	8.0

Figura 28. Tabla de Historial de Consumo. Fuente: Autor.

La tercera función que posee la interfaz es la de mostrar graficas de consumo donde el usuario procede a ingresar los respectivos meses de inicio y final y presiona el botón de graficar. En esta opción se visualizan los recursos empleados por la cantidad de meses que se hicieron aplicaciones mostrando una gráfica de la cantidad de meses que se ingresaron a visualizar. Como se puede apreciar en la figura 29, se muestra información de la cantidad de fertilizante y agua que requirió cada proceso y la mezcla total realizada en este ejemplo se observa todos los procesos realizados que van desde el mes de octubre hasta llegar a diciembre del año 2018.

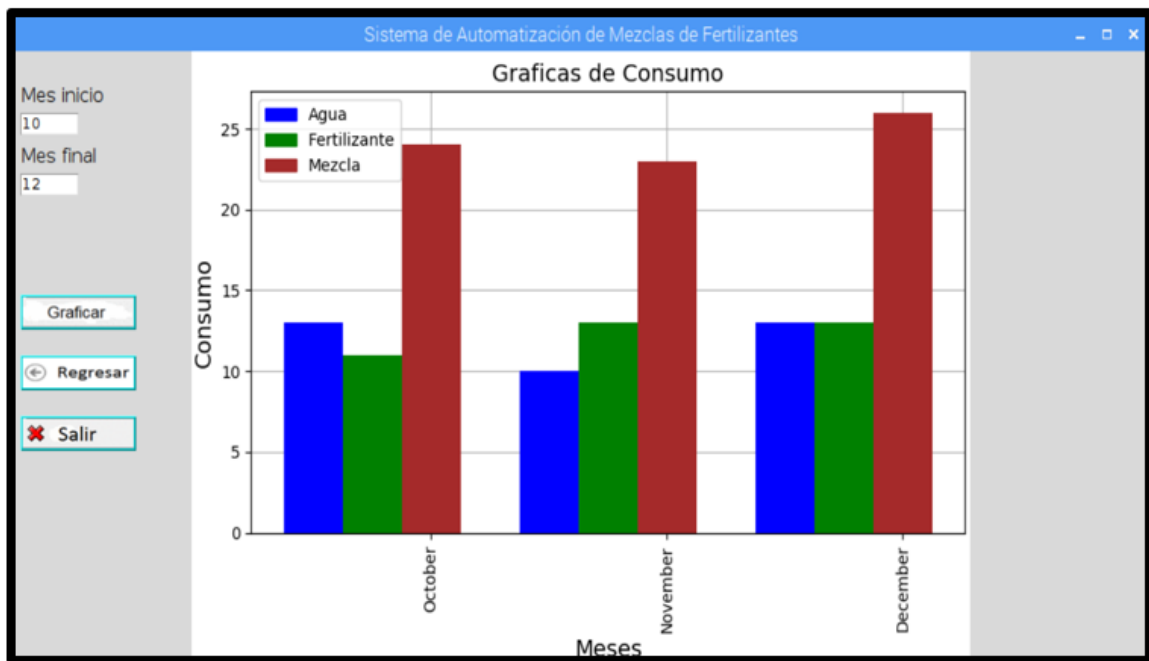


Figura 29. Graficas de Consumo Anual. Fuente: Autor.

### 3.3.4 Etapa de presentación de los resultados

En esta sección se explica el proceso de implementación de los circuitos diseñados en el apartado anterior, y se muestra el resultado obtenido de este trabajo monográfico junto con las pruebas realizadas para la validación del correcto funcionamiento del sistema.

### 3.5 Implementación de circuitos impresos

Para el diseño de los circuitos impresos se usó el software Ares, perteneciente a la suite de Proteus porque contiene una amplia librería de componentes electrónicos y herramientas que facilitan el proceso de diseño. Para el diseño del sistema se realizó una única tarjeta impresa esta contiene la unidad secundaria y sus respectivas entradas para los elementos de medición y control.

las dimensiones de la tarjeta son 4.27 cm x 7.15 cm y sus planos se muestran en la figura 31. También incorpora un regulador de voltaje LM-7805 para que proporcione la alimentación del microcontrolador y módulo USART.



59



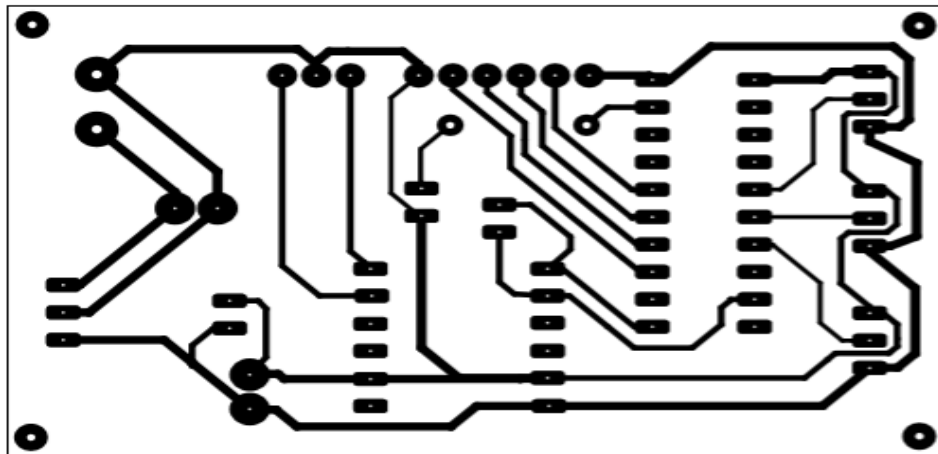


Figura 31. Vista Inferior del Plano de la Tarjeta. Fuente: Autor.

Al finalizar con el diseño de los circuitos impresos se procedió a su elaboración. A través del método del planchado y el uso de ácido nítrico, el circuito impreso fue plasmado en una tarjeta de cobre. Luego se hicieron las perforaciones de los componentes en la tarjeta para colocarlos y posteriormente soldar cada uno de éstos.



Figura 32. Circuito Implementado. Fuente: Autor.

### 3.5.1 Resultados obtenidos

Como resultado de este trabajo se obtuvo un prototipo para la preparación de fertilizantes líquidos para el cultivo de hortalizas que disponen de invernaderos tipo micro túnel con sistema de riego tipo goteo un sistema funcional de bajo costo.

La estructura donde esta ensamblado el sistema se elaboró de esta forma con la finalidad de que se pueda transportar fácilmente. En la figura 33 se puede apreciar dicho prototipo finalizado.



*Figura 33. Prototipo final para la preparación de fertilizantes líquidos.  
Fuente: Autor*

### 3.5.2 Partes del prototipo de fertirrigación

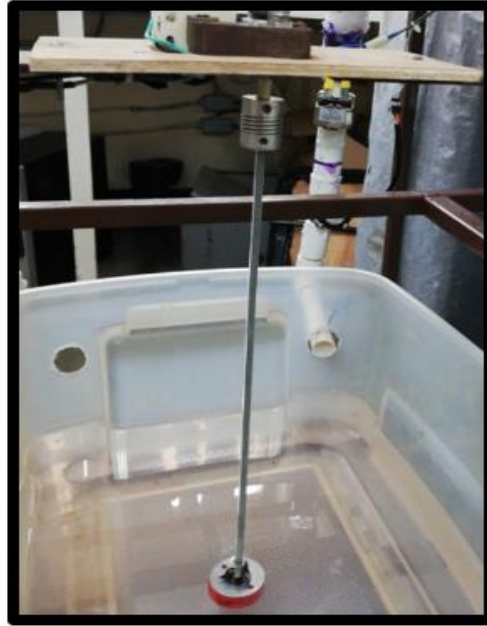


Figura 34. Vista frontal lateral derecha del prototipo. Fuente: Autor

En la figura 34 se puede apreciar la pantalla táctil con la cual el operador va realizar la preparación de los fertilizantes y el panel de control que es donde están ubicadas la unidades primarias y secundarias que conforman el sistema.



Figura 35. Recipientes de agua y fertilizante. Fuente: Autor



*Ilustración 36. Agitador para la preparación de mezclas.*

El motor y la varilla de agitación que se muestran en la figura 36, nos va permitir la preparación de las mezclas, el motor ofrece la ventaja de proporciona una velocidad constante para poder obtener mezclas completamente solubles.

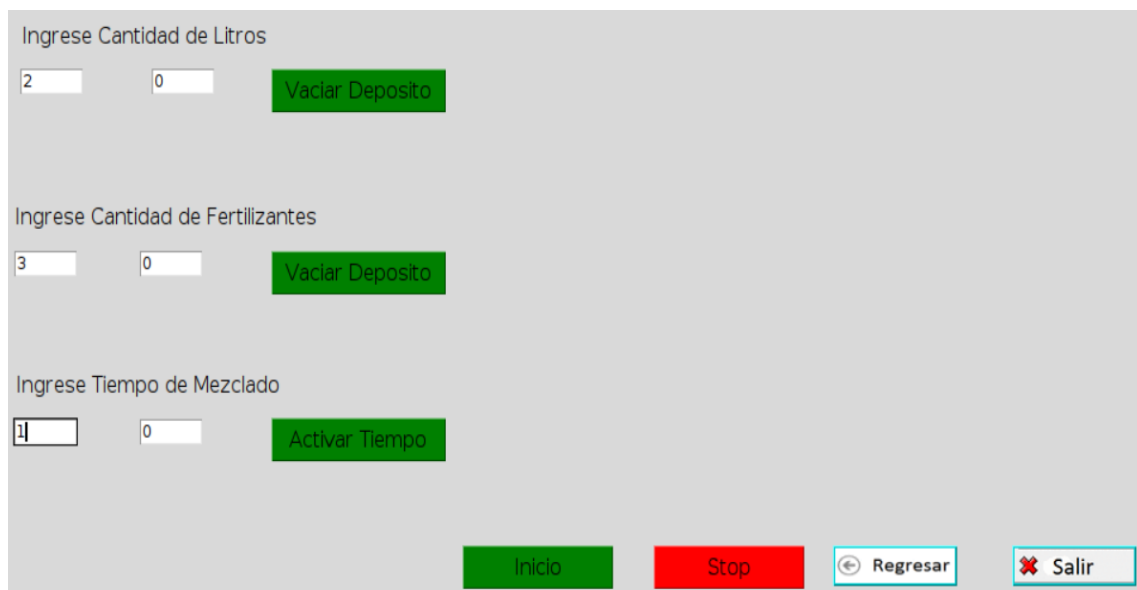


*Figura 37. Contenedor para la preparación de las mezclas. Fuente: Autor*

En la figura 37 se muestra el contenedor que es donde se vierten las soluciones que deben ser mezcladas, para que puedan disolverse correctamente se dispone de un motor y una varilla de agitación

### 3.5.3 Pruebas de funcionamiento del sistema

Para verificar su funcionamiento se realizaron una serie de pruebas las cuales se muestran en los registros de la figura 40, estas consistieron en la realización de mezclas una vez por semana por los meses de diciembre del año 2018, enero y febrero del año en curso, se ingresaban los parámetros por cada proceso y se evaluaba si dosificaba la cantidad correcta.



Ingrese Cantidad de Litros

2 0 Vaciar Deposito

Ingrese Cantidad de Fertilizantes

3 0 Vaciar Deposito

Ingrese Tiempo de Mezclado

1 0 Activar Tiempo

Inicio Stop Regresar Salir

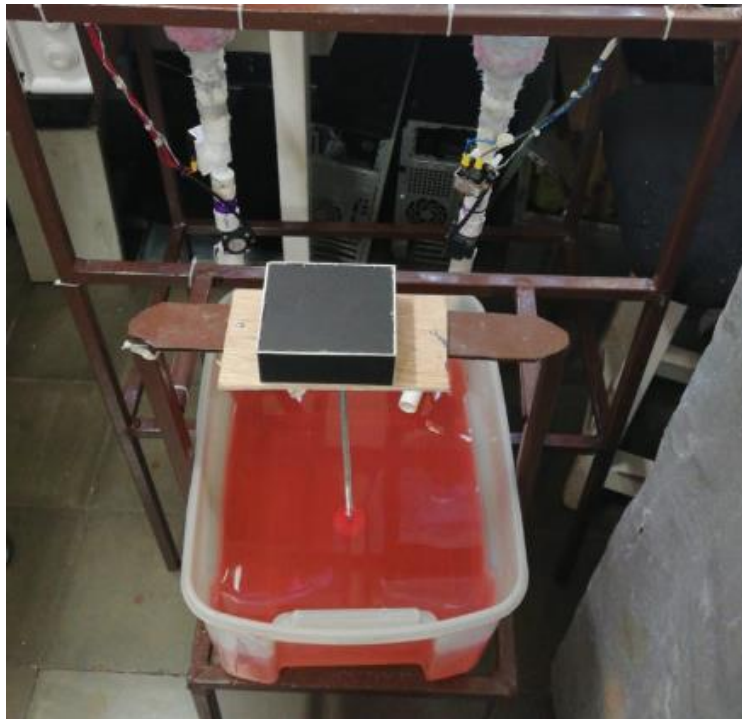
Figura 38. Ingreso de la cantidad de Fertilizante y Agua. Fuente: Autor.

Una vez finalizada la evaluación de la dosificación de cada sustancia requerida por el operador se verificaron si los tiempos de preparación para la mezcla eran los adecuados.

En la figura 38 se puede apreciar los valores correspondientes de la cantidad de agua y el total de fertilizante a utilizar estos datos fueron ingresado una vez ingresada la información se procede a la siguiente etapa presionar los botones de

vaciado de cada sustancia que se requiere para el abonado del cultivo, una vez realizado el vaciado ingresamos el tiempo y presionamos el botón de activar el tiempo de mezclado a como se puede apreciar se ingresó 1 minuto para su debida preparación.

Para finalizar el proceso presionamos en botón inicio, de esta manera se pretende obtener una mezcla más soluble esto con el fin de evitar posibles obstrucciones en la tubería del flujo principal del sistema de riego.



*Figura 39. Mezcla realizada a través de las pruebas de funcionamiento de sistema.  
Fuente: Autor*

La figura 39 muestra el resultado de la mezcla realizada que se efectuaron a través de las pruebas de funcionamiento, la cantidad de las sustancias corresponden a los valores que se ingresaron en la figura 36, los cuales corresponden al agua y fertilizantes como se puede apreciar la solución queda completamente disuelta, el tiempo de preparación es fundamental para realización de este proceso.

### 3.5.4 Registros de las pruebas realizadas.

Sistema de Automatización de Mezclas de Fertilizantes			
Historial de Consumo			
Fecha Y Hora	Agua	Fertilizante	Mezcla
2018-10-07 10:30:00	5.0	3.0	8.0
2018-10-15 11:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-10-25 09:30:00	5.0	4.0	9.0
2018-11-08 09:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-11-16 09:30:00	4.0	5.0	9.0
2018-11-26 08:30:00	3.0	4.0	7.0
2018-12-06 08:30:00	4.0	3.0	7.0
2018-12-14 01:30:00	5.0	5.0	10.0
2018-12-24 01:30:00	4.0	5.0	9.0
2019-01-07 09:30:00	4.0	4.0	8.0
2019-01-15 11:30:00	5.0	4.0	9.0
2019-01-26 12:30:00	3.0	5.0	8.0
2019-02-21 13:58:43	1.0	1.0	2.0
2019-02-21 14:04:06	2.0	2.0	4.0
2019-02-21 14:23:30	2.0	2.0	4.0
2019-02-21 17:30:48	2.0	3.0	5.0

Regresar Salir

Figura 40. Registros del historial de consumo. Fuente: Autor.

Los resultados mostrados en la figura 40, detallan el historial de cada insumo aplicado durante la fase verificación y funcionamiento del sistema, a como se logra observar esta nos muestra la hora y la fecha las cuales corresponden a los meses de diciembre del año 2018 hasta febrero del año 2019. Habiendo culminado estas pruebas y practicas finales el sistema respondió de la forma esperada y así se puedo constatar el correcto funcionamiento.



### 3.6 Costo del prototipo

Los principales componentes utilizados para el desarrollo de este trabajo monográfico fueron importados dado que no se encuentran en el mercado local, mientras que los componentes básicos de propósito general si fueron adquiridos localmente. En la tabla 6 se muestra el costo en dólares y su respectivo cambio en córdobas de cada uno de los artículos importados y el importe solo en córdobas de los componentes adquiridos en el país. La tasa de cambio dólar (C\$ 32.51).

*Tabla 5. Costos de elaboración del prototipo. Fuente: Autor.*

Componente	Cantidad	Precio Unitario [\$]	Precio Unitario [C\$]	Importe
<b>Artículos importados</b>				
<b>PIC 18F14K50</b>	1	\$6.58	C\$ 207.27	C\$ 207.27
<b>Valvulas solenoide</b>	3	\$19	C\$ 617.69	C\$ 1,853.07
<b>Sensores de flujo de agua</b>	3	\$15	C\$ 487.65	C\$ 1462.95
<b>Pantalla Tactil Touch</b>	1	\$90	C\$ 2925.9	C\$4,226.3
<b>Raspberry pi 3B</b>	1	\$110	C\$3,5761	C\$650.2
<b>Fuente de alimentación 120v-30 A</b>	1	\$30	C\$975.3	C\$227.57
<b>Módulo USART</b>	1	\$8	C\$260.08	C\$320.10
<b>Motor AC</b>	1	\$25	C\$812.75	C\$1,072.75
<b>Módulo Relays 4 canales</b>	1	\$12	C\$390.12	C\$510.12
<b>Artículos comprados en el país</b>				
<b>Caja para conexiones</b>	1	-	C\$620	C\$620
<b>Memorias micro SD- clase 10</b>	2	280	C\$580	C\$580
<b>Acoples de plastico ½ Pulgada</b>	2	200	C\$400	C\$400
<b>Diseño de la estructura</b>	1	-	C\$2300	C\$2300
<b>Reguladores de voltaje Lm7805</b>	3	25	C\$75	C\$75
<b>Codos y Conectores de ½ pulgada</b>	4	15	C\$60	C\$60
<b>Tubo PVC</b>	1	-	C\$130	C\$130
<b>Tarjeta de fibra de vidrio</b>	1	-	C\$70	C\$70
<b>Impresión para PCB</b>	1	-	C\$30	C\$30
<b>Mano de obra</b>				C\$6,000
<b>Total</b>				C\$21,025.33



## **Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

Al finalizar este trabajo monográfico se logró realizar el diseño de un primer prototipo para la automatización del proceso de mezcla para la realización de soluciones líquidas de la técnica fertirrigación, el cual dispone de una interfaz gráfica para realizar la preparación de los abonos disueltos donde se procede a ingresar las cantidades correspondientes de cada sustancia y su tiempo de preparación. El prototipo muestra también los registros de las mediciones realizadas, donde detalla la cantidad de cada insumo con su respectiva hora y fecha en la que se realizó el proceso.

A continuación, se presentan las conclusiones en base a los objetivos iniciales planteados y los resultados obtenidos se emiten las siguientes conclusiones:

- Se concretó el diseño e implementación de un primer prototipo para la automatización del mezclado de soluciones líquidas. La incorporación de este tipo de herramientas nos va permitir una mejor distribución cuando se realiza la aplicación de los abonos disueltos.
- El prototipo cumple con el objetivo deseado, la automatización y optimización de la mezcla de soluciones para la fertirrigación, así como la reducción de tiempo de elaboración del mismo.
- La interfaz gráfica desarrollada, permite al usuario final obtener las mediciones proporcionadas por los sensores, almacenarla en una base de datos, y realizar funciones tales como reproducción del historial de consumo y las gráficas de consumo, facilita el monitoreo de los insumos utilizados para realizar el proceso.
- Se lograron establecer las especificaciones de un primer prototipo para la automatización del proceso de mezcla para la realización de soluciones líquidas de la técnica fertirrigación.

- Se verificó el funcionamiento del sistema en su totalidad mediante una serie de pruebas para verificar su comportamiento y así detectar posibles errores para luego realizar los debidos ajustes.

## **Recomendaciones**

A continuación, se presentan algunas recomendaciones orientadas a mejorar las prestaciones del prototipo desarrollado:

- Tener un sistema de energía de respaldo utilizando energía renovable como paneles solares, y asegurarse que sus conexiones estén bien protegidas, para que, en casos de apagones, el sistema no esté desprotegido, por lo que se recomienda una fuente estabilizadora.
- Utilizar sensores de flujo de  $\frac{3}{4}$  para evitar que los fertilizantes saturen las aspas internas del sensor cuando se efectuó el proceso de llenado.
- Desarrollar un tipo de carcasa más resistente a condiciones exteriores tales como polvo, lluvia, y otros, que cumpla con los requisitos necesarios para brindar una adecuada protección al sistema.
- Ya que el prototipo funciona en base de software libre y hardware de plataforma abierta se le pueden agregar más tanques para preparar diversas mezclas de solución, es decir, el prototipo es escalable.
- Emplear electroválvulas industriales de  $\frac{3}{4}$  con mayor precisión y que permitan un mayor flujo de agua.
- Realizar un estudio de mercado para averiguar si existe demanda de parte de los productores de hortalizas para el sistema desarrollado, cuáles son las expectativas de compra y que monto está dispuesto a pagar un cliente promedio, para luego determinar la rentabilidad de producir este sistema en mayores volúmenes.

## BIBLIOGRAFÍA

Volio Rodríguez, J., Bermúdez Jiménez, M., (2014). Recomendaciones para la preparación de soluciones de fertilizantes a utilizar en fertirriego. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/InfoRegiones/Publicaciones/fertirrigacion.pdf>

Moreno, M. (junio 2005). *Fertirrigación*. Castilla-La Mancha España.

Franquesa, M. (4 de marzo de 2015) *Fertilizantes líquidos y Sólidos*. Agroptima: Obtenido de: <https://www.agroptima.com/es/blog/fertilizantes-liquidos-o-solidos/>.

Gurovich R, Luis, A. (15 de enero 2007). *Riego superficial y técnicas para diversos tipos de hortalizas sector agropecuario*. Obtenido de <http://faba-asturiana.org/producto/tecnicas-de-cultivo/>.

Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego: métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones*. San Fernando del Valle Catamarca, Catamarca: Ediciones INTA, 2014.

MUNDO HVAC&R. (mayo de 2014). *Sistemas de climatización en invernaderos*. Obtenido de: <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/05/sistemas-de-climatizacion-en-invernaderos/>.

Barrera, E., Herrera, R., & Meraz, A. (2014). *Invernadero Inteligente*. México: Instituto Politécnico Nacional.

Busquets Gasso F., & Solomando, V. (12 de enero 2011). *Estructura e Instalaciones en Invernadero*. (Licenciatura). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona España.

Moreno, E. G. (2014). *Automatización de Procesos Industriales*. Valencia, España: Editorial Universidad Politécnica de València.

Canto, C. (s.f.). *Automatización: conceptos generales*. San Luis de Potosí, México.

Alejandro, A. (5 de junio de 2015). *Sistema de llenado de Recipientes Automatizado*. Instituto Tecnológico de Comitán.

Obtenido de: <https://es.slideshare.net/fidelrodriguezlopez18/sistema-de-llenado-de-recipientes-automatizado-49044074>

Ennis, A., Joel, E., & Oscar, G. (11 de febrero 2015) *Sensores y Actuadores* Obtenido de <http://sensoresyactuadores.blogspot.com/2015/02/sensor-de-efecto-hall-sensor-de.html>

Gutiérrez, H. (12 de marzo de 2013). *Tipos de válvulas solenoides para procesos industriales*. Obtenido de: <http://larocamadre.com/2013/03/valvula-de-solenoide.html>.

Arenales, J. C. (2006). *Motores eléctricos*. Barcelona, España.

Sánchez, R. S. (2008). *Accionamientos y actuadores eléctricos*. Huelva, España.

Perles, A. (27 de septiembre de 2017). *Empezar con las Raspberry Pi Rpi*. España: Universidad Politécnica de Valencia.

Pérez, M. A. (2008). *Introducción a los sistemas de control y modelo matemático para sistemas lineales invariantes en el tiempo*. San Juan, Argentina.

Valdés Pérez, F., & Pallas Areny, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC* (1st ed.). España: Marcombo.

Mandado Pérez, E. (2007). *Microcontroladores PIC. Sistema integrado para el autoaprendizaje* (1st ed.). España: Marcombo.

National Instruments. (23 de marzo de 2012). *Serial Communication Overview*. Obtenido de NATIONAL INSTRUMENTS: <http://www.ni.com/whitepaper/2895/en/>.

Universidad de Sevilla. (s.f.). Interfaz gráfica de usuario. Obtenido de Biblioteca de Ingeniería, Universidad de Sevilla. Obtenido: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11300/fichero/PROYECTO%252FCapitulo3.pdf>.

Álvarez, A. (6 de mayo 2015). Guía Tkinter Documentation. Obtenido de: [http://www.ferg.org/thinking\\_in\\_tkinter/all\\_programs.html](http://www.ferg.org/thinking_in_tkinter/all_programs.html).

Elmasri, R., & B. Navathe, S. (2011). Database Systems. Estados Unidos: Pearson Education.

El NUEVO DIARIO. (27 de noviembre de 2017). Producción hortícola se tecnifica Obtenido de El Nuevo Diario / Nacionales: <https://www.elnuevodiario.com.ni/economia/447714-produccion-horticola-se-tecnifica/>

MySQL. (13 de marzo de 2017). MySQL 5.7 Reference Manual. Obtenido de MySQL: <https://downloads.mysql.com/docs/refman-5.6-en.pdf>

Pérez Challenger, I. (6 de junio de 2014). El lenguaje de programación Python. Cuba: Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181531232001>

# ANEXOS

## Anexo 1. Carta para solicitud



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Recinto Universitario "Simón Bolívar"**  
**Facultad de Electrotecnia y Computación**  
Vice-Decanatura

Managua, 29 de Agosto del 2018.

**Ing. Claudia Cárdenas Velásquez**  
**Directora de INTA**  
**Sus manos**

Estimada Ingeniera Cárdenas:

Reciba cordiales saludo de mi parte y éxito en sus funciones.

La siguiente misiva es para solicitar de la manera más atenta la colaboración que pueda brindarle al estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Facultad de Electrotecnia y Computación en la Universidad Nacional de Ingeniería. Detallo dato de los estudiantes:

NOMBRE DEL ESTUDIANTE	NUMERO DE CARNET
Ulises Fanor Rivas García	2013-61972
Gustavo Antonio López Muñoz	2012-41331

El apoyo necesario consiste en brindar información necesaria para el desarrollo del trabajo monográfico, cuyo título es " Automatización de la Técnica Fertirrigación de Soluciones Liquidas para el Cultivo de Hortalizas en un Invernadero de Tipo Micro Túnel "

No omito manifestar que esta actividad se realiza con el objetivo de complementar la formación de nuestro estudiante, siendo consistente con la excelencia académica, premisa fundamental de nuestra Alma Mater.

Atentamente,



**Ing. Augusto César Palacios Rodríguez.**  
**Vice-Decano FEC**  
**Tel: 2267-3348**

Cc. Archivo.

## Anexo 2. Requisitos del prototipo.

### ENTREVISTA Y VISITAS INTA

Managua, Nicaragua 11 de octubre 2018

Nombre:

Institución / área de trabajo

*Carlos Ernesto Moreno Amarrila IE/ren.*

¿Esta institución se encarga de desarrollar procesos de investigación y generar tecnologías y técnicas que mejoren la producción agrícola del país? De responder sí a lo anterior mencione tecnologías que están contribuyendo al beneficio de los productores en sus campos de cosechas.

*Sí, generación de variedades de semillas resistentes a la sequía, actualización de los Manuales de Riego para cultivos de granos básicos.*

¿La institución dispone de sistemas automatizados para la preparación de soluciones de fertilizantes sólidos y líquidos? Si no disponen de este tipo de sistemas explique las causas

*No, falta conocimiento y gestión de la captura de esta tecnología.*

¿Cuáles piensa usted que son los mayores inconvenientes actualmente para que los pequeños y grandes productores de este gremio no dispongan de herramientas más eficientes que logren incrementos significativos de la actividad agrícola? Seleccione una casilla

☒ Los costos son elevados

☒ Falta de financiamiento por parte de Bancos

☐ Requieren de personal capacitado

☐ Mejores Políticas sociales económicas

\*Otro: \_\_\_\_\_

*IE/ren.*  
*Entrevista realizada*  
*a un productor el día*  
*11 de Octubre del 2018*  
*a las 10:40 a.m.*  
*en oficina de*  
*INTA.*

¿Mencione ventajas que ofrece la incorporación de Invernaderos de tipo micro túnel o malla con respecto a la siembra a campo abierto para el cultivo de hortalizas?

- Control de vectores, plagas y enfermedades.
- Generación de microclima (Temperatura y humedad controladas) adecuado.

¿Estima usted conveniente que los productores incorporen equipos automatizados para la preparación de los fertilizantes? Mencione futuros beneficios de este tipo de herramientas

- Disminución de costos de mano de obra.
- Focalización y dosificación adecuada de las aplicaciones de fertilizantes.

¿Establezca las especificaciones técnicas con las cuales debe de contar un sistema que se encargue de realizar este tipo de tareas?

- 1- Verificar el caudal de la bomba (el caudal necesario)
- 2- El tipo de manguera debe ser circular y no cinta.
- 3-
- 4-
- 5-

¿En el caso de que se diseñara un prototipo que pudiera ser comercializable para la optimización de este proceso seleccione con X las características con las que le gustaría que cuente el sistema?

☒ Bajo Costo económico

☒ Que Disponga de una interfaz de usuario

☒ Fácil de Utilizar

☒ Que disponga de registros detallados por cada fertilizante aplicado

\*Otro: De fácil mantenimiento y acceso de repuesto  
De utilidad para el productor (Costos - Beneficios)



### Anexo 3. Script realizado en PIC CCS

```
include <18F14K50.h>

#FUSES INTRC_IO,NOMCLR      //High Speed Oscillation

#use delay(clock=4MHZ)

#use rs232(baud=9600,BITS =8,PARITY=N, xmit=PIN_B7, rcv=PIN_B5,stream=PIC, UART1)//UART

//////////Variables//////////

char buffer[8]= {0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00};

char buffertx[8]= {0xA5,0x5A,0x83,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF};

char datorx=0;

int i=0; unsigned int Cp1=0;unsigned int Cp2=0;unsigned int Cp3=0;

int aguaset=0; int fertset=0; int tmset=0;

int aguaac,fertac,tmac;

int tmin; int cont;

unsigned int16 c1=0;

unsigned int16 c2=0;

//////////Estados//////////

//Definición de los tres estados posibles.

#define Esperando 1  /// mostrar hora y fecha /coordenadas

#define Llenado 2

#define Mezclado 3/// activar rutina de interrupcion de timer

#define Vaciado 4///

#define Stop 5///

int estado=0;

//////////Estados//////////

#INT_RDA

void recepcion_serie()  // Rutina de interrupción por recepción serie

{

    datorx= fgetc(PIC);

    if(datorx==0xA5){
```

```

    i=0;
}/// if
    buffer[i]=datorx;
    i++;
}/////recepction
////////////////////

```

```

#INT_EXT
void caud1()
{
    c1++;
    if(c1==360){
        Cp1++;
        c1=0;
    }
}

```

```

#INT_EXT1
void caud2()
{
    c2++;
    if(c2==360){
        Cp2++;
        c2=0;
    }
}

```

```

/*#INT_EXT2
void caud3()
{
    unsigned int16 c3;
    c3++;
    if(c3==480){

```

```

    Cp3++;
    c3=0;
}
*/
//////////timer////////
#int_TIMER1
void TIMER1_isr(void)
{
    if(estado==Mezclado){
        cont++;
        if(cont==40){
            Tmset--;
            cont=0;
        }
    }//if estado
    set_timer1(0xF63B);//carga del tmr1
}
//////////
void txvariable(int NC, int cl)
{
    int Ccl,Dcl,Ucl,i;
    Ccl= cl/100;
    Dcl= (cl%100)/10;
    Ucl= (cl%100)%10;
    buffertx[3]=NC;buffertx[4]=Ccl;buffertx[5]=Dcl; buffertx[6]=Ucl;
    for(i=0;i<8;i++){
        fprintf(PIC,"%c",buffertx[i]);
    }
}

void main(){

```

```

enable_interrupts(INT_RDA);
enable_interrupts(INT_EXT);//AGUA
ext_int_edge(L_TO_H);
enable_interrupts(INT_EXT1);//Fertilizante
ext_int_edge(L_TO_H);
//enable_interrupts(INT_EXT2_L2H);//Salida
setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_8);
enable_interrupts(INT_TIMER1);
enable_interrupts(GLOBAL);
set_timer1(0xF63B);//carga del tmr1
output_low(PIN_C3);// AGUA
output_low(PIN_C4);// Fertilizante
output_low(PIN_C5);// Salida
output_low(PIN_C6);// Mlser
estado=Esperando;

i=0; Cp1=0; Cp2=0; Cp3=0;
aguaset=0; fertset=0; tmset=0;
tmin=0; c1=0; c2=0;
while(1){
switch(estado)
{
case Esperando:
{
output_low(PIN_C3);// AGUA
output_low(PIN_C4);// Fertilizante
output_high(PIN_C5);// Salida
output_low(PIN_C6);// Mlser
if((buffer[2]==0x85)&&(buffer[3]==0xA1))
{
aguaset=buffer[4]*100+buffer[5]*10+buffer[6];
buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;

```

```

}
if((buffer[2]==0x85)&&(buffer[3]==0xB1))
{
    fertset=buffer[4]*100+buffer[5]*10+buffer[6];
    buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
}
if((buffer[2]==0x85)&&(buffer[3]==0xF1))
{
    tmset=buffer[4]*100+buffer[5]*10+buffer[6];
    tmset=tmset*60;
    buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
}
if(buffer[2]==0x80)
{
    estado=Llenado;
    output_low(PIN_C5);// Salida
    output_high(PIN_C3);// AGUA
    output_high(PIN_C4);// Fertilizante
    buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
}
break;
}
case Llenado:
{
    if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xC1))
    {
        if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xC2))
        {
            txvariable(0xC2, Cp2);
            buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00
        }
        if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xF1))

```

```

{
    txvariable(0xF1, tmset);
    buffer[2]=0x00;buffer[3]
    if((Cp1>=aguaset)&&(Cp2>=fertset))
    {
        output_low(PIN_C3);// AGUA
        output_low(PIN_C4);// Fertilizante
        output_high(PIN_C6);// Mixer
        estado=Mezclado;
    }
    else {
        if((Cp1>=aguaset)&&(Cp2<=fertset)){
            output_low(PIN_C3);// AGUA

            }//if agua
            if((Cp2>=fertset)&&(Cp1<=aguaset)){
                output_low(PIN_C4);// Fertilizante

            }//if fertilizante

        }//else
    }
    break;
}

```

case Mezclado:

```

{
    if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xC1))
    {
        txvariable(0xC1, Cp1);
        buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
    }
    if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xC2))
    {

```

```

    txvariable(0xC2, Cp2);
    buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
}
if((buffer[2]==0x82)&&(buffer[3]==0xF1))
{
    txvariable(0xF1, tmset);
    buffer[2]=0x00;buffer[3]=0x00;
}

if(tmset==0){
    output_low(PIN_C6);// Mlser
    output_high(PIN_C5);// Salida
    i=0; Cp1=0; Cp2=0; Cp3=0;
    aguaset=0; fertset=0; tmset=0;
    tmin=0; c1=0; c2=0;
    estado=Esperando;
}
break;
}
case Vaciado:
{
    break;
}
case Stop:
{
    break;
}
}

```

```
}///switch
```

```
}///while
```

```
}///main
```

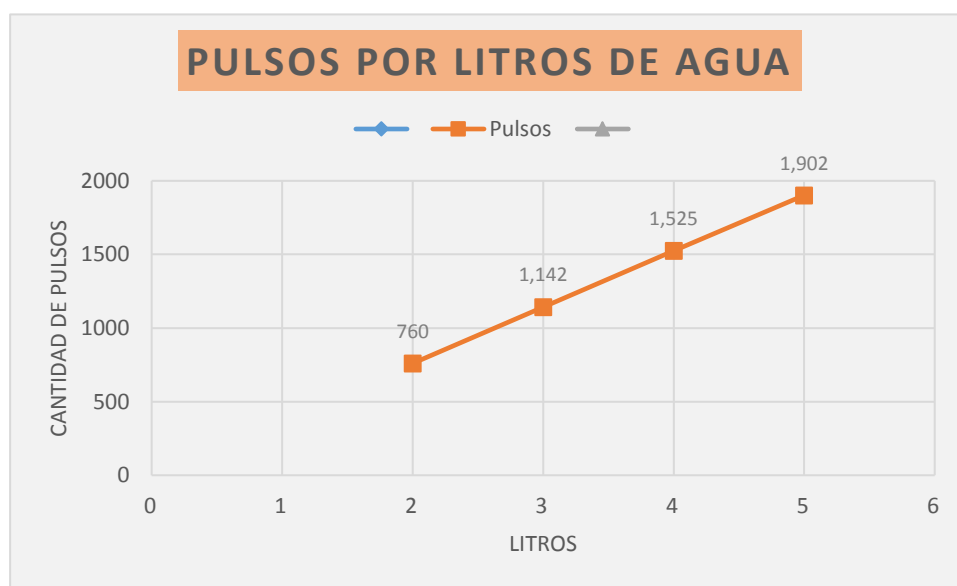


## Anexo 4. Mediciones para la calibración del sensor de flujo.

Prueba con un sensor de flujo		
Lectura Obtenida para 1000 mL de agua:		
Prueba	mL	Cantidad de Pulsos
1	1000	475
2	1000	456
3	1000	405
4	1000	396
5	1000	385

Prueba con 2 sensores de flujo	
Sensor 1	Sensor 2
460	490
439	446
405	415
390	399
380	380

Litros	Pulsos
2	760
3	1,142
4	1,525
5	1,902



## Anexo 5. Hoja de datos del Sensor de Flujo YS-201B

### YIFA the plastics Ltd Product Introduction

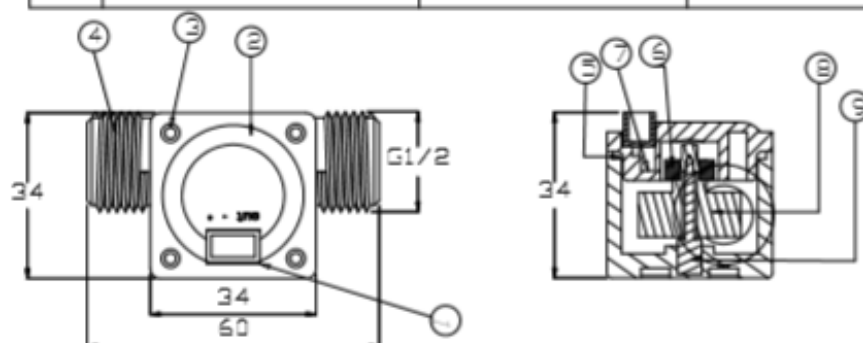
1. Model: YF-21
2. Product Name: Hall sensor
3. Flow Range: 1-30L/MIN
4. (1) Connection Method



- (2) Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic:  $F=7Q(L/MIN)$ .
- (3) Extent of error:  $\pm 5\%$ .
- (4) Flow-Pulse
  - 2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ
  - 8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

### 5. Bom

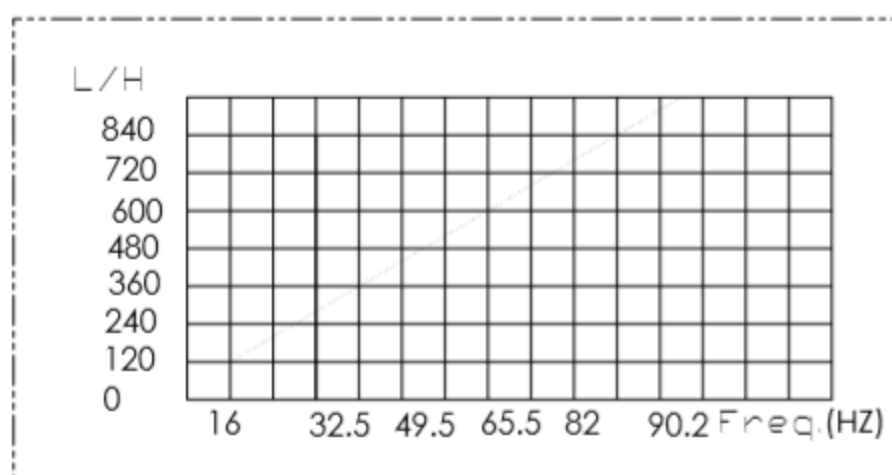
No	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

—Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Enno range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	



Connection method:

